المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج





تخصص اتصالات

أساسيات الاتصالات الرقمية

٢٣١ تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **أساسيات الاتصالات الرقمية** " لمتدربي تخصص **"الاتصالات"** في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على عبده ورسوله محمد سيد الأولين والآخرين.
أما بعد، فبعون الله ورعايته نقدم حقيبة أساسيات الاتصالات الرقمية التي أنجزناها بتكليف من المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني شاكرين لها جهودها الرامية إلى تعريب المساقات التقنية خدمة للمتدربين الذين يزاولون تعليمهم في مختلف الكليات والمعاهد التابعة للمؤسسة.
ويسرنا أن نشكر المؤسسة أيضا على الثقة التي وضعتها فينا آملين أن نكون قد وفقنا الله عز وجل في تأليف هذه الحقيبة. كما يسرنا أن نشكر المسئولين في كلية الاتصالات بالرياض على دعمهم لجهودنا واهتمامهم البالغ بعملنا هذا.

تعتبر الاتصالات الرقمية اليوم من المحاور الرئيسة في ميادين نقل المعلومات وتقنيات الاتصالات. ذلك أن التطوّر التكنولوجي أدى إلى استعمالها في كل المجالات، نظراً لما لها من إيجابيات مقارنة مع غيرها من تقنيات نقل المعلومات. فهي تطبق في:

- النقل السلكي للمكالمات الهاتفية والبيانات الأخرى والذي يعتمد اليوم على عمليات و تقنيات رقمية تطبق في البدّالات الهاتفية ووسائل النقل المختلفة
- النقل اللاسلكي للمكالمات الهاتفية والبيانات الأخرى والذي يتم بواسطة المعدات الثابتة والمتنقلة كالهوائيات والهواتف الجوالة،
- النقل التلفزيوني والإذاعي الرقمي حيث يتم الاعتماد كلياً على التقنيات الرقمية في الإرسال والاستقبال،
- نقل المعلومات بواسطة شبكات الحاسب (الإنترنت وغيره)
- والأمثلة كثيرة .....

كما أن هناك ميادين أخرى تستعمل الكثير من الطرق التي وضعت أساساً لنقل المعلومات لكنها أظهرت جدواها فيما بعد في تطبيقات أخرى. نذكر منها على سبيل المثال ميدان تخزين المعلومات، حيث نستفيد من الطرق المطورة في ميدان الاتصالات الرقمية في التقليل من حجم البيانات وتشفيرها وحمايتها.

وتفسر أهمية التقنيات الرقمية عامة بما لها من نواح إيجابية كثيرة مقارنة بالتقنيات التماثلية. وأهم هذه الإيجابيات:

- إمكانية استعمال دوائر رقمية وهي رخيصة نسبياً
- إمكانية حماية البيانات الرقمية بواسطة تشفيرها
- إمكانية دمج بيانات من مصادر متعددة ومختلفة على قناة بث واحدة
- إمكانية إصلاح الأخطاء بواسطة شفرات خاصة
- استعمال جهدين فقط متباينين كثيراً (عادة 0 و 5V) للتعبير عن الرقمين الثنائيين المستعملين (0 و 1) وهو ما يفسر صلابة البيانات الرقمية بالنسبة للضجيج الذي يمثل إشكالاً رئيساً بالنسبة للإشارات التماثلية. ففي النقل الرقمي يصعب الخلط بين 0 و 1 نظراً لتباين الجهدين حتى عند وجود ضجيج.
- في النقل الطويل المدى لا تنتشر الأخطاء عبر المعاودات (repeaters) كما هو الحال في النقل التماثلي وإنما يتم استرجاع النبضة الصحيحة في كل معاود. ويمثل انتشار الأخطاء (error propagation) نقطة سوداء بالنسبة للنقل التماثلي.

أما أهم سلبيات النقل الرقمي فهي:

- وجوب استعمال إشارات التزامن
- الحاجة إلى عرض نطاق كبير مقارنة بعرض نطاق الإشارة التماثلية.

إلا أن هذه السلبيات لا وزن لها اليوم أمام الإيجابيات الكثيرة للنقل الرقمي.

إن التقنيات المستعملة تكتسي نوعاً من التعقيد يتطلب من المتدرب الاهتمام والتركيز حتى يفهم النظريات التي تبنى عليها هذه التقنيات والتطبيق العملي لمختلف التقنيات. وإذا أولى الطالب لهذا المقرر الاهتمام اللازم فإنه يغنم بذلك فهم أسس الاتصالات العصرية ومختلف تطبيقاتها ، فيدخل بذلك ميدان التقنيات الرقمية من بابها الكبير.

تتناول هذه الحقيبة النقاط الأساسية في ميدان الاتصالات الرقمية و لقد حاولنا أن نقدمها للمتدرب بطريقة سهلة دون إهمال المحتوى، وتم التركيز على محاولة إيصال المعلومة بشتى الطرق للمتدرب وإعطائه أكثر من فرصة للفهم. وقد يبدو عرضنا أحياناً مطوّلا بالنسبة للمختصين، إلا أن الطالب العادي

لم يسبق له التعامل مع مواضيع هذا المقرر الذي يعتمد على معادلات ونظريات تستدعى الإطناب أحيانا، حيث كان هدفنا الرئيس إعطاء المتدرب فرصاً كثيرة للفهم، والتطرق إلى جزئيات تهيؤه إلى خوض التجارب العملية المقدمة في الجزء العملي من هذه الحقيبة والتي ستدعم إن شاء الله ما يستوعبه الطالب في الجزء النظري.

يحتوي الجزء النظري للحقيبة على الوحدات التالية:

- المحتوى (فهرس الجزء النظري)
- المقدمة
- الوحدة الأولى: مقدمة في الاتصالات الرقمية
- الوحدة الثانية: تضمين النبضات
- الوحدة الثالثة: تضمين شفرة النبضات
- الوحدة الرابعة: التراسل الرقمي
- الوحدة الخامسة: التضمين الرقمي
- الوحدة السادسة: تشفير المصدر
- المراجع

نقدم في الوحدة الأولى المعلومات الأساسية التي يحتاجها الطالب في بقية الدروس، مذكرين بخاصيات الاتصالات الرقمية وسبب انتشارها ثم نتطرق إلى بعض المعادلات الرياضية التي يجب على الطالب مراجعتها وخاصة تحويل فوريي وبعض الإشارات الأساسية وأطيافها وكذلك المعادلات الخاصة بالأعداد المركبة والمعادلات المثلثية.

ندرس في الوحدة الثانية تضمين النبضات حيث ندرس أولاً طرق التحويل التماثلي/الرقمي، كما نرى طرق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين النبضات، ثم طرق التضمين المختلفة وهي :

- تضمين سعة النبضات
- تضمين عرض النبضات
- تضمين موقع النبضات.

أما في الوحدة الثالثة فنتطرق إلى تضمين شفرة النبضات حيث ندرس أولاً طرق تحويل إشارة سعة النبضات إلى إشارة تضمين شفرة النبضات وندرس كل خاصيات هذه الإشارة ثم طرق التجميع بالتقسيم الزمني والنظم المستعملة في أمريكا وفي بقية دول العالم ثم نرى هنا كيف يمكن أن نختار إحدى الطريقتين التاليتين:

- التجميع بالتقسيم الزمني لتضمين سعة النبضات ثم تحويل الإشارات المجمعة دفعة واحدة إلي إشارة تضمين شفرة النبضات مركبة، أو
- التجميع بالتقسيم الزمني لتضمين شفرة النبضات مباشرة.

والوحدة الرابعة تعالج موضوعاً هاماً وهو التراسل الرقمي، حيث نرى خاصة أصناف الإرسال ومبادئ التشفير عامة، ثم نتطرق إلى طرق التشفير الخاصة بالقناة لأنها الأداة التي يقوم عليها التراسل ونعطي أهم الطرق المعروفة مقارنين بين إيجابياتها وسلبياتها.

أما في الوحدة الخامسة فندرس التضمين بواسطة التعديل بالإزاحة، وينقسم إلى ثلاثة أقسام هي:

- التعديل بإزاحة السعة
- التعديل بإزاحة التردد
- التعديل بإزاحة الطور

تتناول الوحدة السادسة والأخيرة بالدرس تشفير المصدرحيث نذكر أولاً بخاصيات المصدر والمصطلحات الهامة بالنسبة له ثم نتحول إلى مبادئ تشفير المصدر ثم إلى ثلاثة من أشهر طرق تشفير المصدر وأكثرها فعالية وهي:

- تشفير هوفمان
- تشفير هامينغ
- تشفير غراي.

تبدأ الوحدات بمعلومات عن الجدارة والأهداف ومستوى الأداء والوقت المتوقع لدراسة الوحدة.

تحتوي الحقيبة كما ذكرنا سابقاً على جزء نظري (وهو ما استعرضناه سابقاً) وعلى جزء عملي وهو ما سيجده المتدرب في الجزء المذكورو نريد أن يلاحظ في هذا الصدد ما يلي:

- تكرار التأكيد على أهمية الجزء العملي في هذا المساق بالذات، ذلك لأن أغلب المفاهيم هي نظرية بحتة وعلى غاية من التعقيد، لذلك تمثل التجارب العملية فرصة عظيمة لفهم الجزء النظري
- حاولنا مراعاة إمكانية اختلاف المعدات من كلية إلى أخرى فأدرجنا في الأماكن المناسبة من المساق النظري ملحوظات عامة خاصة لمكونات كل تجربة وعلاقتها بالجزء النظري وأهدافها حتى نوصل للمتدرب معلومة تعينه على تعدي التجربة المرتبطة بمعدات ما إلى فهم الأهداف التي نريد بلوغها من وراء التجربة وربط هذه التجربة بالجزء النظري الذي تبنى عليه.

وتجدر الإشارة في هذا المقام إلى المصطلحات المستعملة. إن النظريات والتقنيات المرتبطة بميدان الاتصالات الرقمية تتطور بنسق سريع وهو ما ينتج عنه سيل من المصطلحات الإنجليزية التي يصعب الحصول على ترجمة موثقة لها باللغة العربية، رغم ما تبذله الجهات المعنية من جهود لمواكبة هذا النسق السريع. لقد حاولنا في هذا الإطار استعمال المصطلح الصحيح بالرجوع إلى القواميس والكتب المختصة، محاولين قدر الإمكان الابتعاد عن الارتجال واستعمال المفردات غير الموثقة.

وإذ نسأل الله سبحانه وتعالى أن يوفقنا جميعا إلى الاستفادة من هذه الحقيبة، فإننا ندعو الجميع وبإلحاح إلى موافاتنا بكل ما يعين على تحسين الحقيبة وإثرائها وذلك مراعاة لمبدأ تعميم الفائدة على الجميع.

والله ولي التوفيق ومنه العون والسلام

أساسيات الاتصالات الرقمية

مقدمة في الاتصالات الرقمية

الوحدة الأولى: مقدمة في الاتصالات الرقمية
Introduction to Digital Communication

الجدارة: التعرف على المصطلحات والطرق والمبادئ والنظم الأساسية في الاتصالات الرقمية. نبدأ بتذكير مزايا الترقيم عامة والاتصالات الرقمية خاصة ثم نعرض أهم المصطلحات المستعملة مع تفسير مقتضب لكل منهاو نقدم المكونات الرئيسية والجانبية الأكثر استعمالا في الاتصالات الرقمية. ثم نذكر أخيراً بأهم المعادلات الرياضية المستعملة ونولي اهتماماً خاصاً لتحويل فورير الذي يكتسي أهمية بالغة في الميدان.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪بإذن الله .

الوقت المتوقع: 4 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية. كتب ومراجع في الميدان.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية والدّوائر المنطقية.

مقدمة في الاتصالات الرقمية

1- 1 نظم الاتصالات الرقمية

نعرض في هذا الجزء بعض الأساسيات النظرية والتطبيقية الهامة التي من شأنها أن توضح الرؤيا فيما يتعلق بميدان الاتصالات الرقمية. كما نعرض ما يحتاجه الطالب من مصطلحات و معادلات رياضية وغيرها بغية التمهيد للدروس الموالية.

تتم الاتصالات الرقمية بواسطة نظم اتصالات. يشمل نظام الاتصالات أساساً ثلاثة أجزاء رئيسة هي المصدر والقناة والوجهة، حيث تولد المعلومة لدى المصدر (Source) الذي يرسلها عن طريق القناة (Channel) إلى الوجهة (Destination). (انظر الشكل 1 - 1).



الشكل 1 - 1 :نظام اتصالات

وتجدر الإشارة إلى أن الإرسال قد يكون:

ا = في اتجاه واحد وهو ما يسمى بنصف دوبلكس (half duplex) مثلما هو الحال مثلاً في الإرسال التلفزيوني من محطة الإرسال إلى المستمع

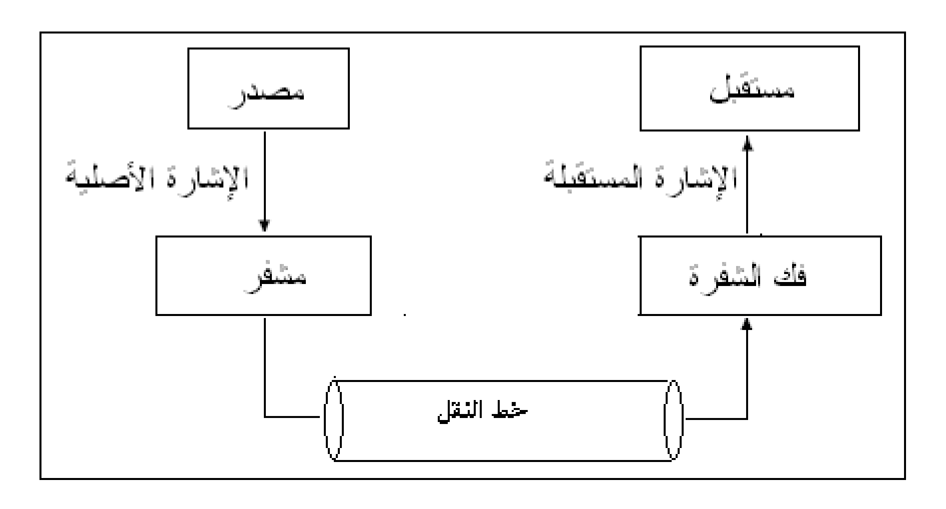
ب = في الاتجاهين وهو ما يسمى دوبلكس تام (full duplex) مثلما هو الحال مثلاً في الاتصال الهاتفي حيث يكون كل مشترك مرسلاً ومستقبلاً في آن واحد.

نظام الاتصالات في الشكل 1 - 1 ينطبق بصفة عامة على النظم التماثلية والرقمية في آن واحدو في مقررنا هذا نهتم بالنظم الرقمية لذلك نفترض أن تكون البيانات التي يولدها المصدر رقمية، أي في شكل أرقام مرتبة بشكل يعكس المعلومة الأصلية. في حال كانت المعلومة تماثلية، إذ يتم أولاً تحويلها إلى رقمية بواسطة طريقة التحويل التماثلي الرقمي (Analog to Digital conversion A/D) الذي

سندرسه في الوحدة التالية من هذا الكتاب. ويشمل التحويل مرحلتين هما أخذ العينات (sampling) ثم تكمّية العينات (quantization).

نحصل بعد التحويل على مجموعات رقمية (عادة في شكل سلاسل من البتات) تمثل المعلومات الأصلية. توجه سلاسل البتات عبر القناة إلى مستقبلها حيث يتم التحويل العكسي من رقمي إلى تماثلي (Digital to Analog conversion D/A) بغية استرجاع المعلومة الأصلية.

تحتوي أغلب النظم الرقمية إلى جانب ما ذكرنا أعلاه على مكونات إضافية أهمها أدوات التشفير وفك التشفير(Coders and Decoders). يقوم المشفر بإسناد شفرات للمعلومات الثنائية (binary data) وذلك إما بتعويضها برموز أخرى أو بإدخال تحويرات عليها وهو ما يؤدي إلى توليد كلمات الشفرة (codewords)، بينما تقوم معدات فك الشفرة باسترجاع البيانات الثنائية من الشفرات، يعطي الشكل 1 - 2 مثالاً لنظام نقل رقمي يحتوي على أدوات لتشفير الخط والقناة المشوشة أساساً.



الشكل 1 - 2 مثال لنظام نقل رقمي

إذا تعلق التشفير بالمصدر نفسه نسميه تشفير المصدر (source coding)، بينما نسميه تشفير القناة (channel coding) إذا تعلق بالقناة..

وهناك طرق عديدة للتشفير سنعرضها في هذا الكتاب،

1- 2 مزايا الاتصالات الرقمية

مقارنة مع الاتصالات التماثلية فإن الاتصالات الرقمية لها إيجابيات وسلبيات. كما أن لها وظائف هامة وأدوات رياضية يحتاجها إنجاز الوظائف.

إيجابيات الاتصالات الرقمية:

- سهولة استرجاع الإشارة نظراً للاختلاف الواضح بين المستويين 0 و 1 (0V و 1V عادة)
- الدوائر الرقمية تعرف مستويين فقط (مفتوح / مغلق) وبذلك فهي أقل عرضة للتشويش و التداخل من الدوائر التماثلية التي تعرف مستويات كثيرة غير معروفة مسبقاً،
- وجود تقنيات رقمية لتصحيح الأخطاء التي قد تتعرض لها الإشارة الرقمية وهو أمر غير معروف في الاتصالات التماثلية،
- الدوائر الرقمية أكثر صلابة وذات تكلفة أقل،
- الدوائر الرقمية أكثر قابلية للحماية
- إمكانية تشكيل مجموعات من الإشارات الرقمية من مصادر مختلفة بواسطة التجميع في الزمان (Time Division Multiplexing TDM) وهو أمر لا يمكن استعماله بالنسبة للإشارات التماثلية، وتعتبر تقنية التجميع الزمني أقل تعقيداً وأقل تكلفة من التجميع الترددي (Frequency Division Multiplexing FDM)،
- إمكانية إرسال معلومات مختلفة كالصوت والصورة والنصوص وغيرها باستعمال نفس الصنف من الإشارات الرقمية ألا وهي البتات،
- سهولة استعمال البرامج الرقمية لمعالجة الإشارات الرقمية،
- استعمال الإشارات الرقمية للوصل بين نظم مختلفة كالكمبيوترات والآلات والمعدات المختلفة

سلبيات الاتصالات الرقمية:

- تحتاج لعرض نطاق كبير(large bandwidth)
- تحتاج للتزامن (synchronisation)

1 – 3 وظائف الاتصالات الرقمية:

الوظائف الأساسية في سلسلة الاتصالات الرقمية هي إعطاء القوالب والتضمين وفك التضمين. إلى جانب ذلك هنالك وظائف عديدة يتم إنجازها في المصدر والقناة والاستقبال. و الشكل التالي يعطي مثالاً للوظائف الأكثر شيوعاً في نظم الاتصالات الرقمية، حيث تم وضع الوظائف الرئيسة (التي لا غنى عنها) في إطار بالخط المتين. منما يلي تفسير موجز لكل هذه الوظائف.

وضع القوالب (formatting) : يحول المعلومة المتواجدة في المصدر إلى رموز رقمية بواسطة أخذ العينات (sampling) والتكمية (quantization) وتعرف عملية وضع القوالب بالتحويل التماثلي الرقمي (Analog/Digital Conversion: A/D or ADC)،

التضمين: (Modulation) ويكون باستعمال موجة حامل لنقل الإشارة التي تمثل المعلومة. والموجة الحامل الرقمية تكون في شكل سلسلة نبضات يتم تعديل خاصياتها تبعاً للمعلومة وطريقة التضمين المستعملة

تشفير المصدر (Source Encoding) وضع البيانات الرقمية المتوفرة بعد عملية التحويل التماثلي الرقمي في قوالب مناسبة بغية نقلها أو تخزينها بطريقة مجدية

تشفير القناة (Channel Encoding) تشفير البيانات بإضافة رموز بغية حماية البيانات خلال النقل أو باعتبار خاصيات إحصائية وغيرها بغية إنزال معدل الإرسال

التجميع / التشكيل (Multiplexing) تجميع معلومات من مصادر أو أصناف مختلفة مشفرة بنفس الطريقة بغية التقليل من عدد القنوات (الخطوط) اللازمة

التفكيك/ التجزئة (Demultiplexing) تفكيك الإشارة المشكلة إلى الإشارات الأصلية لتوصيلها إلى مستقبليها

التمديد الترددي (Spreading) تغيير / توسيع المجال الترددي للإشارات

التزامن (Synchronization) وضع إشارات تعلن عن بداية ونهاية أجزاء داخل الإشارات المنقولة (ساعة) بهدف استرجاع هذه الأجزاء بصفة صحيحة.

معدل الإرسال (نقل البيانات) (Data Rate) كمية البيانات المرسلة خلال الوحدة الزمنية (الثانية) ويعطي الجدول المعدلات القياسية المستعملة في النظم الثلاثة (الأمريكي، الأوروبي والياباني)

اسم المعدل الإرسال	قيمة معدل الإرسال (Mbps)	يستعمل في
DS0	0.064	أمريكا الشمالية وبعض الدول الأخرى
DS1	1.544	
DS2	6.312	
DS3	44.736	
DS4	274.176	
CEPT1	2.048	أوروبا وبقية بلدان العالم
CEPT2	8.448	
CEPT3	34.368	
CEPT4	139.26	

أهم الأدوات الرياضية التي تستعمل في الاتصالات الرقمية:

وفي ختام هذه المقدمة السريعة دعونا نذكّر ببعض الأساسيات الرياضية المتعلقة بالأعداد التخيلية و بتحويل فوريي (Fourier Transform) وخاصياته وهو تحويل هام يعتبر من الأدوات التي لا غني عنها في ميدان الاتصالات الرقمية عامة.

1- 4 معادلات رياضية هامة

يعرف **تحويل فوريي** كالتالي:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)\, e^{-j2\pi ft}\, dt$$

حيث إن t هو الزمن

f هو التردد

g(t) هي الإشارات كدالة زمنية

G(f) هو طيف الإشارة وهو دالة ترددية

وتعطي المعادلة أعلاه ما يسمى **بتحويل فوريي المباشر** أو باختصار تحويل فوريي (Direct Fourier Transform). أما **تحويل فوريي العكسي** (Inverse Fourier Transform) فيعرف كما يلي:

$$g(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} G(f)\,e^{j2\pi ft}\quad df$$

حيث إن t هو الزمن

f هو التردد

$g(t)$ هي الإشارات كدالة زمنية

$G(f)$ هو طيف الإشارة وهو دالة ترددية

ولتحويل فوريي خاصيات (properties) هامة نراها في الجدول الموالي، حيث تمثل

$g(t)$ و $h(t)$ إشارات (دوال زمنية)

$G(f)$ و $H(f)$ دوال ترددية تمثل أطياف الإشارات $g(t)$ و $h(t)$

a و b ثوابت حقيقية

الخاصية Property	الإشارة Signal	تحويل فوريي Fourier transform
الخطية Linearity:	$a\cdot g(t)+b\cdot h(t)$	$a\cdot G(f)+b\cdot H(f)$
إزاحة زمنية Shift in time domain	$g(t-t_0)$	$G(f)e^{-j2\pi ft0}$
إزاحة ترددية Shift in frequency domain	$g(t)e^{j2\pi f0t}$	$G(f-f_0)$

تغيير السلم الزمني Time scaling	$g(at)$	$\frac{1}{\lvert a\rvert}G\left(\frac{f}{a}\right)$
اشتقاق derivation	$\frac{d^n g(t)}{dt^n}$	$(j2\pi f)^n G(f)$
تلافيف Convolution	$g(t)*h(t)$	$G(f)H(f)$
الجذاء Product	$g(t)h(t)$	$G(f)*H(f)$

كما أن لتحويل فوريي خاصيات مفيدة أخرى نراها في الجدول الموالي

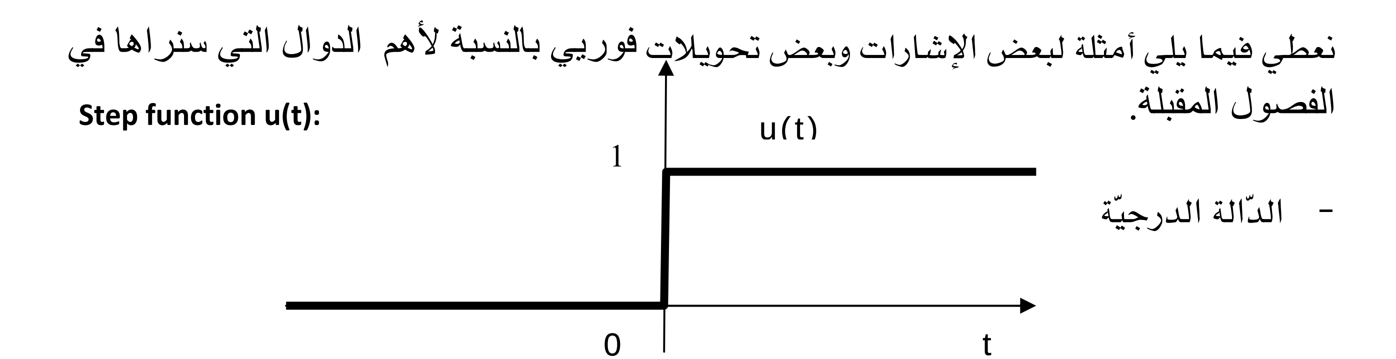
الخاصية property	الدالة/القيمة Function / value	تحويل فوريي Fourier Transform
ثابت Constant	1	$\delta(f)$
دالة دلتا Delta function	$\delta(t)$	1
أس مركّب	$e^{j2\pi f_0 t}$	$\delta(f-f_0)$

		Complex exponent
$\frac{\delta(f-\frac{a}{2\pi})+\delta(f+\frac{a}{2\pi})}{2}$	$\cos(at)$ $(e^{jat} + e^{-jat}) / 2.$	دالة جيب التمام Cosine function
$1/j\pi f$	$\operatorname{sgn}(t)$	دالة جيب Sign function
$1/j2\pi f + ½\ \delta(f)$	$u(t)$	دالة درجية Unit step.
$\frac{1}{T}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta\left(f-\frac{k}{T}\right)$	$\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT)$	سلسلة نبضات Impulse train
$\int_{-\infty}^{+\infty}\lvert G(f)\rvert^2 df$	$\int_{-\infty}^{+\infty}\lvert g(t)\rvert^2 dt$	مبرهنة بارسفال Parseval’s Theorem

نعطي فيما يلي أمثلة لبعض الإشارات وبعض تحويلات فوريي بالنسبة لأهم الدوال التي سنراها في الفصول المقبلة.

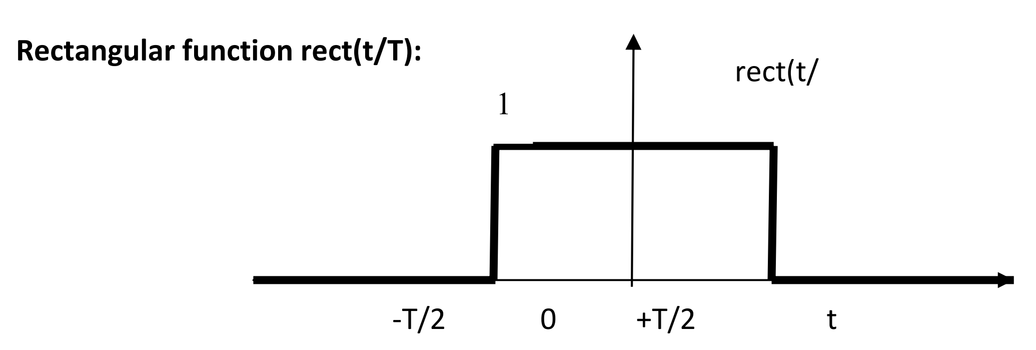
- الدّالة الدرجيّة

Step function u(t):

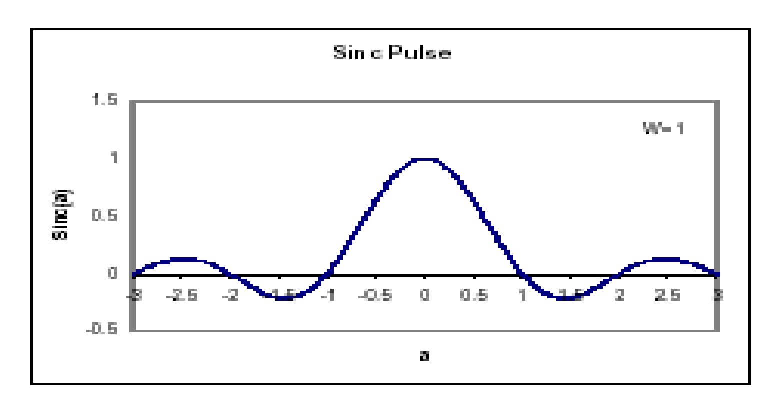


- الدّالة المستطيلة **rect(t/T)** وطيفها **sinc(x)** (حيث x=fT)

Rectangular function rect(t/T):

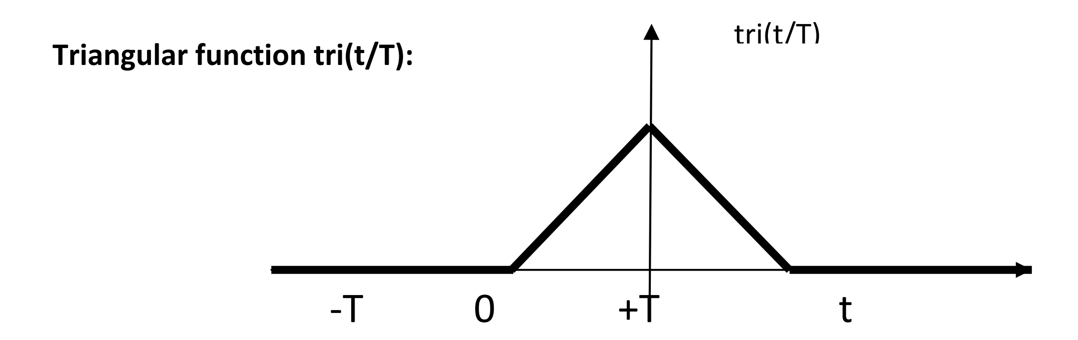


function sinc(x): sinc(x) = sine (x)/x

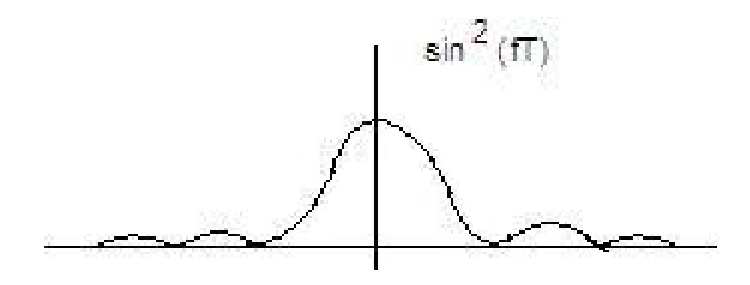


- الدّالة المثلثية وطيفها

Triangular function tri(t/T):



$Sin^2(fT)$ (Fourier transform of the triangular function)



وفي ما يلي بعض المعادلات المثلثية الهامة (حيث تمثل الحروف θ و a و b زوايا.) :

$$\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta) = 1$$

$$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b)$$
$$\cos(a-b) - \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$$

$$\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$$
$$\sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b)$$

$$\cos(a)\cos(b) - \frac{1}{2}\Big(\cos(a+b) + \cos(a-b)\Big)$$

$$\sin(a)\sin(b) = \frac{1}{2}\Big(\cos(a-b) - \cos(a+b)\Big)$$

$$\sin(a)\cos(b) - \frac{1}{2}\Big(\sin(a+b) + \sin(a-b)\Big)$$

$$\cos(a)\sin(b) = \frac{1}{2}\Big(\sin(a+b) - \sin(a-b)\Big)$$

$$\cos(2a) = \cos^2(a) - \sin^2(a) = 2\cos^2(a) - 1$$
$$= 1 - 2\sin^2(a)$$

$$\sin(2a) = 2\sin(a)\cos(a)$$

$$\tan(2a) = \frac{2\tan(a)}{1 - \tan^2(a)}$$

$$ej\theta = \cos(\theta) + j \cdot \sin(\theta).$$

$$\cos(\theta) = (ej\theta + e-j\theta) / 2$$
$$\sin(\theta) = (ej\theta - e-j\theta) / 2j$$

وهذه معادلات هامة للتحويل بين الشكل المستطيل (rectangular form) والشكل القطبي (polar form) للأعداد المركبة (complex numbers). أي عدد مركب z يمكن كتابته بالشكل المستطيل أو بالشكل القطبي.

لنتأمل أولا الشكل المستطبل:

حيث إن : $Z = a + jb$

هو الجزء الحقيقي و هو الجزء التخيّلي، ويمكن كتابة الجزأين على النحو التالي:

$$a = r\cos(\theta)$$
$$b = r\sin(\theta).$$

باعتبار

$$r = \sqrt{a^2 + b^2}$$
$$\theta = \tan^{-1}\frac{a}{b}$$

فنحصل على الشكل المستطيل للعدد المركب

$$z = r\cos(\theta) + jr\sin(\theta).$$

و من هنا نحصل على الشكل القطبي باعتبار المعادلات السابقة:

$$z = r\, e^{j\theta}$$

مثال 1- 1 : حساب الشكل القطبي للعدد : $z = 1+j$

$$r = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1.414$$
$$\theta = \tan^{-1}(1/1) = \tan-1(1) = \pi/4$$
$$\Rightarrow z = 1.414\, e^{j\pi/4}$$

أساسيات الاتصالات الرقمية

تضمين النبضات

الوحدة الثانية : تضمين النبضات

Pulse Modulation

الجدارة: التعرف على طرق تضمين النبضات. نبدأ بالتعرف على طرق أخذ العينات أخذ العينات من الإشارات التماثلية وتكمية هذه العينات للحصول على الإشارة الرقمية وشروط أخذ العينات حتى يصبح استرجاع الإشارة الأصلية من عيناتها ممكناً (احترام متطلبات مبرهنة شانن). كما تستعرض الوحدة التضمين التماثلي للنبضات وتجميع العينات بالتقسيم الزمني بغية استغلال الخطوط بجدوى عالية. نقدم في هذه الوحدة الأسس الرياضية للتحويل التماثلي الرقمي والتي تتمحور أساساً حول أخذ العينات بطرق تتماشى مع مبرهنة شانن ثم تكمية العينات فتشفيرها وتضمينها بغية نقلها باستعمال التجميع بواسطة التقسيم الزمني ثم نستعرض المصطلحات والمعادلات المستعملة للغرض.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪ بإذن الله

الوقت المتوقع: 5 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية. كتب ومراجع في الميدان.

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية والدوائر المنطقية.

2- 1 أخذ العينات (Sampling)

أخذ العينات هي أول عملية في سلسلة التحويل التماثلي الرقمي وتؤدي هذه العملية إلى الحصول على عينات () تفصل بين العينة الواحدة والعينة التي تليها مدة زمينية تسمى دورة أخذ العينات. ولهذه العملية قواعد مضبوطة كما لها أدواتها ودوائرها الخاصة بها. ولعل من أهم القواعد تلك التي تعرف بمبرهنة شانن أو مبرهنة أخذ العينات التي نستعرض تفاصيلها فيما يلي.

2- 1 - 1 مبرهنة أخذ العينات

(Sampling Theorem or Shannon Theorem)

تؤخذ العينات من الإشارة التماثلية ذات تردد أقصى f_m بتردد f_s لا يقل عن $2f_m$ و بصورة منتظمة ، وذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها باستعمال مرشح إمرار منخفض.

بعبارة أخرى، يكفي إرسال عينات بصورة منتظمة في الزمان عوضاً عن إرسال الإشارة التماثلية التي يوجد لها طيف في النطاق الأساسي فحسب (base band signal) بأكملها إذا احترمنا المبرهنة أعلاه والعلاقة بين الترددين يجب أن تكون كما يلي:

$$f_s \geq 2f_m \quad (2-1)$$

حيثإن: f_s هو تردد أخذ العينات الذي نستعمله

f_m هو أقصى تردد في الإشارة التماثلية

أما دورة أخذ العينات فهي T_s حيث لدينا

$$T_s = 1/f_s \quad (2-2)$$

لاحظ: لكي تعطي العينات المعلومة كاملة عن الإشارة الأصلية يجب:

1) أن تكون العينات متقاربة من بعضها البعض
2) أن تكون المسافة بين العينة والتي تليها أقل من $1/2f_m$
3) أن تصغر المسافة المذكورة مع ازدياد التردد.

لتفادي خطأ التذكر (aliasing error) والذي يؤدي إلى التداخل بين مكونات طيف إشارة العينات، يكون أصغر تردد ممكن لأخذ العينات هو $2f_m$ ويدعى هذا التردد تردد نايكوست (Nyquist frequency)، يعني ذلك

$$f_{s\ min} = f_N = 2f_m$$

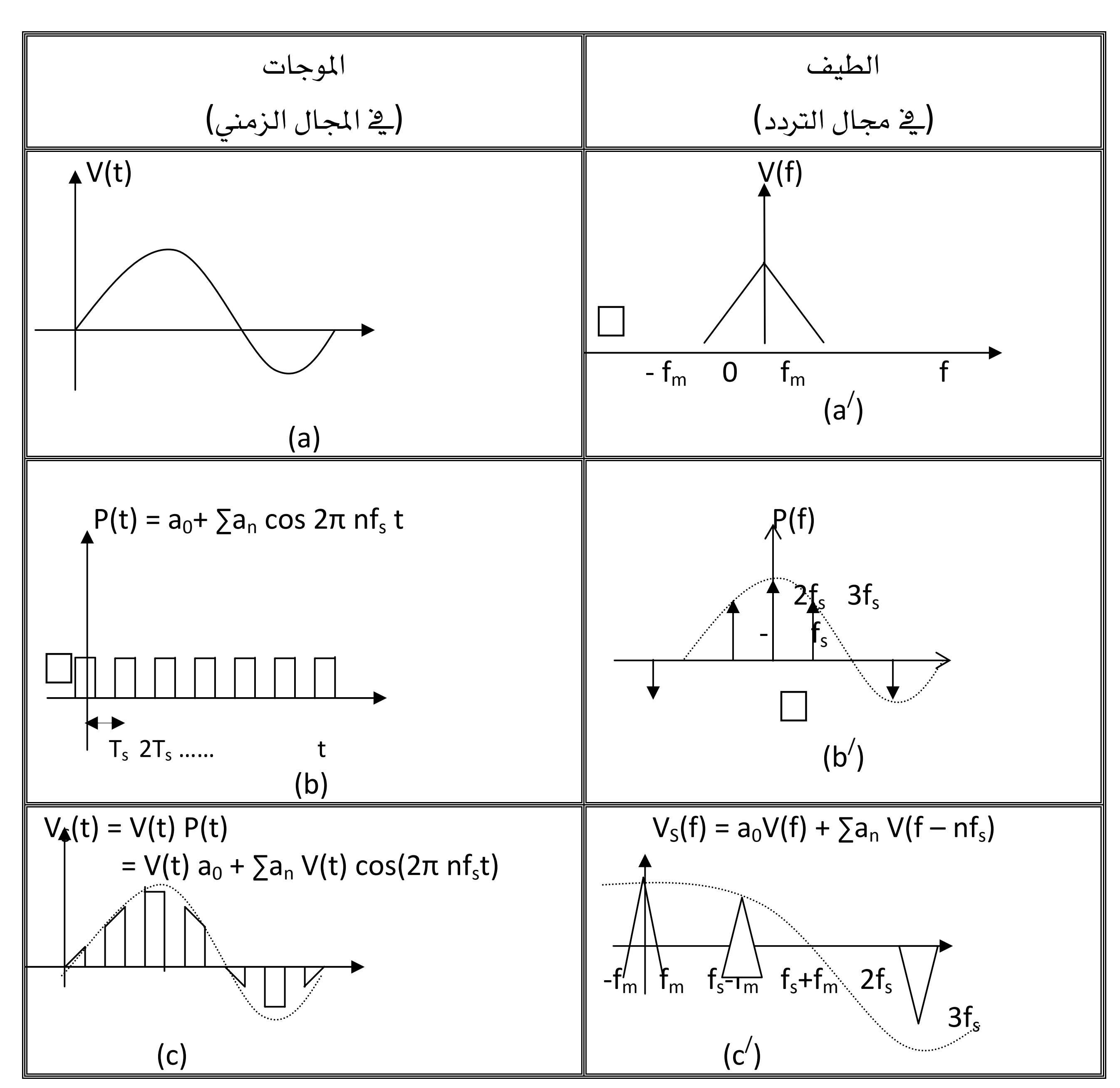
(3-2) $$T_N = 1 / 2f_m$$

حيث إن : f_N هو تردد نايكوست (Nyquist frequency)

T_N هي مسافة أخذ العينات باعتبار تردد نايكوست.

فكرة أخذ العينات هي عملية ضرب الإشارة التماثلية V(t) في سلسلة نبضات P(t) للحصول على الإشارة المكونة من العينات Vs(t) (sampled signal). انظر الشكل 2- 1.

(3-2) $$Vs(t) = V(t) * P(t)$$



الشكل 2-1 : مثال موجات وأخذ العينات منها وانعكاس ذلك في ميدان التردد

(a) الإشارة التماثلية و (a′) طيف هذه الإشارة التماثلية

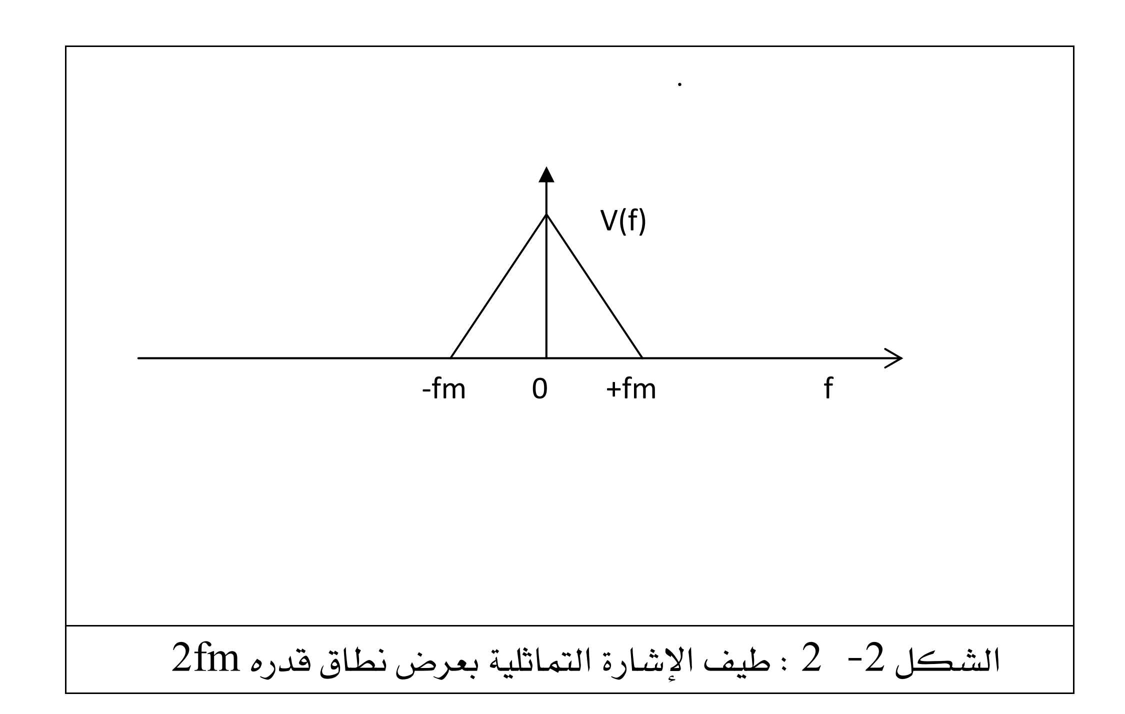
(b) سلسلة نبضات أخذ العينات و(b′) طيف هذه السلسلة

(c) العينات مع غلافها (c′) طيف هذه العينات

عملية أخذ العينات تمثل عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة وتعرف باسم sample ثم غلقه بمجرد القيام بذلك وتعرف باسم hold وإعادة العملية بانتظام). يظهر ذلك جلياً في الشكل 2-1.

البرهان: بين أن الإشارة التماثلية الأصلية يمكن استرجاعها بدون أخطاء من العينات.

1) $V(f)$ الذي هو طيف الإشارة التماثلية الأصلية $V(t)$ محدود بين الترددين f_m و $-f_m$



الشكل 2- 2 : طيف الإشارة التماثلية بعرض نطاق قدره 2fm

2) $P(t)$ متردد

$$P(t) = a_0 + \sum a_n \cos 2\pi n f_s t \qquad (4\text{-}2)$$

3) نتيجة عملية الضرب هي

$$V_s(t) = S(t)\,P(t) = a_0 V(t) + \sum a_n V(t) \cos(2\pi n f_s t) \qquad (5\text{-}2)$$

4) كل عنصر في المجموع أعلاه عبارة عن $V(t)$ ضارب إشارة جيبية $\cos(2\pi n f_s t)$

وبذلك فإن طيف المجموع 2 –5 هو مجموع أطياف كل العناصر حيث تتم إزاحة كل عنصر بما يعادل تردد العامل $\cos(2\pi\, nf_st)$ ، أي إزاحة بمقدار nf_S لطيف العنصر عدد n فيكون بذلك الطيف الجملي:

$$V_S(f) = a_0V(f) + \sum a_n\, V(f - nf_s) \qquad (6\text{-}2)$$

ملحوظات: (انظر الشكل 2 – 1)

المثلث الظاهر في الشكل 2- 1 (a') هو طيف الإشارة التماثلية الظاهرة في الشكل 2- 1 (a) (والتي تعرف أيضاً باسم إشارة النطاق الأساسي base band signal or analog signal) ضارب a_0 أي طيف $a_0V(t)$ بينما الأشكال المزاحة تمثل أطياف بقية العناصر المكونة للمجموع 2-5.

1) الأطياف المختلفة لا تتداخل لأنه تم احترام مبرهنة أخذ العينات، أي أن $f_S \geq 2f_m$
2) لأن كل مكون من مكونات الطيف يحتل مجالاً ترددياً خاصاً به، فإنه يمكن بذلك عزله بواسطة مرشح إمرار منخفض واسترجاع العنصر الخاص به

3) يمكن استعمال مرشح إمرار منخفض بتردد قطع قدره للحصول على طيف العنصر $\alpha_0 V(t)$ كما يظهر في الشكل أنه

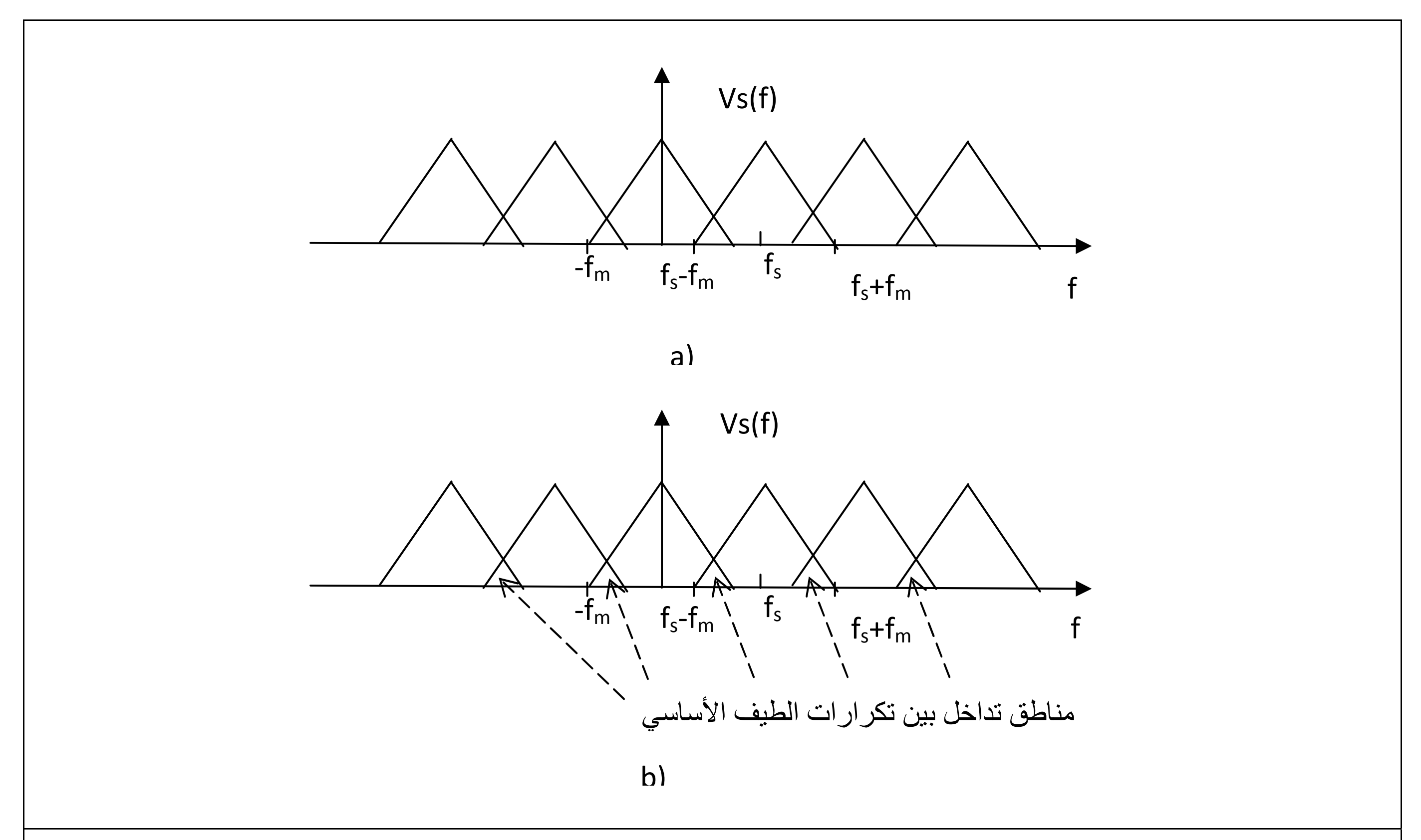
- كلما صغرت المسافة T_S كبر التردد f_S وتباعدت بذلك مكونات الطيف (أضعاف V(f) وهي التي تمثل تكراراً له) عن بعضها البعض
- من ناحية أخرى، كلما كبرت المسافة T_S صغر التردد f_S وتقاربت بذلك مكونات الطيف (أضعاف V(f) وهي التي تمثل تكراراً له) لبعضها البعض ، حتى تصل إلى درجة التداخل ويصعب بذلك فصل أي جزء عن البقية. تمثل الحالة $f_S = 2f_m$ أدنى قيمة لتردد أخذ العينات حيث تتلامس مكونات الطيف دون تداخل.

2- 1 - 2 **التذكر** (Aliasing)

إذا كان التردد الفعلي لأخذ العينات أقل من التردد الأدنى النظري (تردد نايكوست)، تتداخل تكرارات الطيف الأساسي فيما بينها كما نرى في الشكل 2- 3 أسفله، وهو ما يجعل استرجاع الإشارة التماثلية

$f_s <$

من عيناتها غير ممكن. إذا تم أخذ العينات بتردد   فإن للطيف الأساسي يتداخل مع تكراره الذي يليه وهو ما يجعل عزل الطيف الأساسي بشكل صحيح أمراً يكاد يكون مستحيلاً.، بل تنتج عن ذلك أخطاء تعرف باسم أخطاء التذكر (Aliasing errors).



الشكل 2 –3: التذكر الناتج عن تداخلات تكرارات الطيف الأساسي عند عدم مراعاة مبرهنة أخذ العينات (a) والتداخل بين تكرارات الطيف الأساسي (b)

يظهر الشكل 2 –3 مبدأ التذكر حيث نرى في (a) طيف الإشارة Vs(f) المكون من تكرار الطيف الأساسي وفي (b) تداخلات تكرارات الطيف الأساسي عند عدم مراعاة مبرهنة أخذ العينات ، حيث يصبح عزل الطيف الأساسي غير ممكن وبذلك لا نستطيع استرجاع الإشارة التماثلية من العينات التي أخذت لها.

لتفادي أخطاء التذكر المبينة فيما سبق، يجب أن

1) نحد من عرض النطاق الأساسي باستعمال مرشح إمرار منخفض (low pass filter LPF) يعرف باسم المرشح المضاد للتذكر (anti-aliasing filter) وهو ما يقلص من عرض طيف الإشارة التماثلية ليكون أقصى عرض له يساوي 2fm.

2) يكون تردد القَطْع بالنسبة للمرشح المذكور آنفا ($cut\ off\ frequency\ f_{cut\ off}$) أقل من أقصى تردد في الإشارة التماثلية f_{max}

$$f_{cut\ off} \le f_{max} \qquad (7\text{-}2)$$

لنفرض أن العدد الجملي للعينات اللازمة لاسترجاع الإشارة بشكل صحيح هو N ، علماً بأن الإشارة تستغرق مدة زمنية قدرها t_p

- وحيث إن f_s هو تردد أخذ العينات أي عدد العينات في الثانية الواحدة، فإن

$$N = f_s\, t_p = t_p / T_s \qquad (8\text{-}2)$$

2 - 1 - 3: **طرق أخذ العينات** (Types of sampling)

توجد طرق متعددة لأخذ العينات نستعرض أهمها فيما يلي.

2 - 1- 3- 1: **الطريقة المثالية لأخذ العينات**: (Ideal sampling)

تؤخذ العينات باستعمال نبضات أحادية الوزن (unit weighted pulses). وهي الطريقة المستعملة مثلاً في تضمين سعة النبضات (PAM). انظر الشكل 2 –4 أسفله.

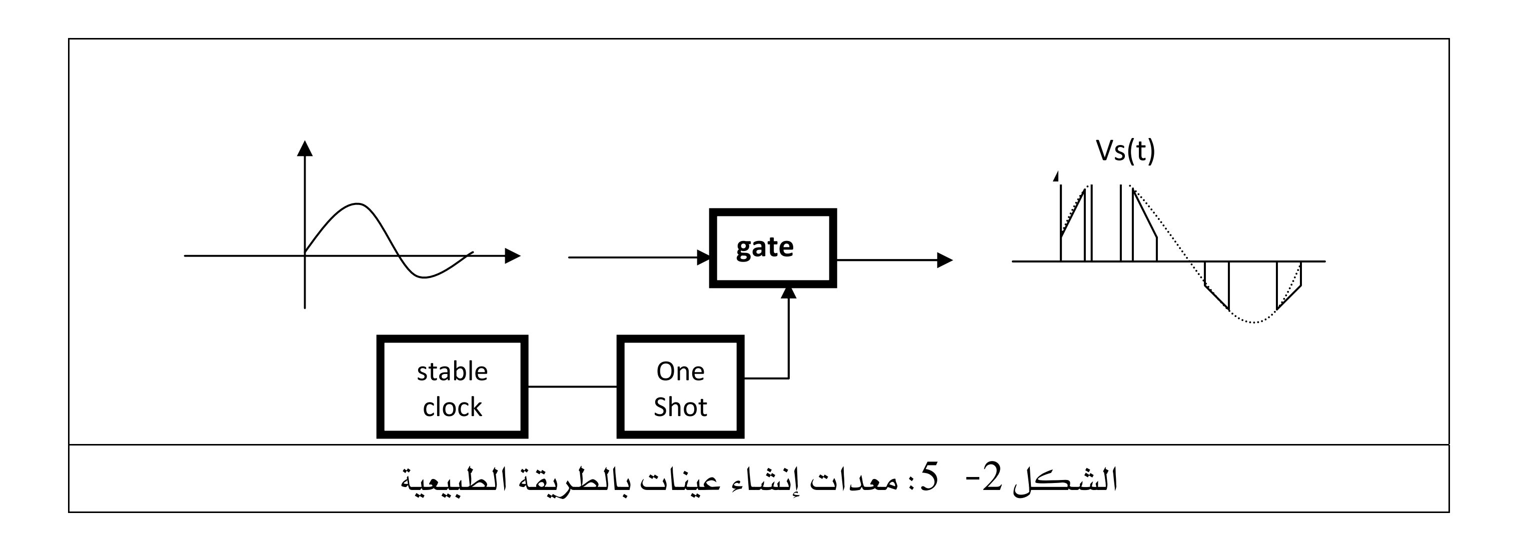
أطياف الإشارات الموجودة في العمود 1	الإشارة التماثلية وسلسلة النبضات الأحادية وأخذ العينات
V(f) -fm fm f (a')	V (t) t (a)
$P(f)=\frac{1}{T}\sum\delta(f-nfs)$ f -fs 0 fs 2fs (b')	$P\delta(t)=\sum_{n=-\infty}^{+\infty}\delta(t-nTs)$ Ts t (b)
$Vs(f)=\frac{1}{T}\sum V(f-nfs)$ -fm fm fs-fm fs+fm ……. (c')	Vs(t) = V(t) Pδ(t) t (c)

الشكل 2- 4: الطريقة المثالية لأخذ العينات

في المجال الزمني تتم عملية ضرب الإشارة (شكل a) في سلسلة النبضات المثالية (شكل b) فتنتج عن ذلك العينات المثالية (شكل c) . أما في المجال الترددّي فتتم عملية تسمى (convolution) بين الطيف الأساسي (شكل a’) وطيف سلسلة النبضات المثالية (شكل b’) فينتج عن ذلك تكرار الطيف الأساسي (شكل c’).

2 - 1- 3- 2 الطريقة الطبيعية لأخذ العينات (Natural sampling)

تؤخذ العينات هنا باستعمال نبضات مستطيلة الشكل حيث يتحدد ارتفاع العينة طبقاً لتغير الإشارة خلال النبضة. يبين الشكل 2- 5 هذه الطريقة.



الشكل 2- 5: معدات إنشاء عينات بالطريقة الطبيعية

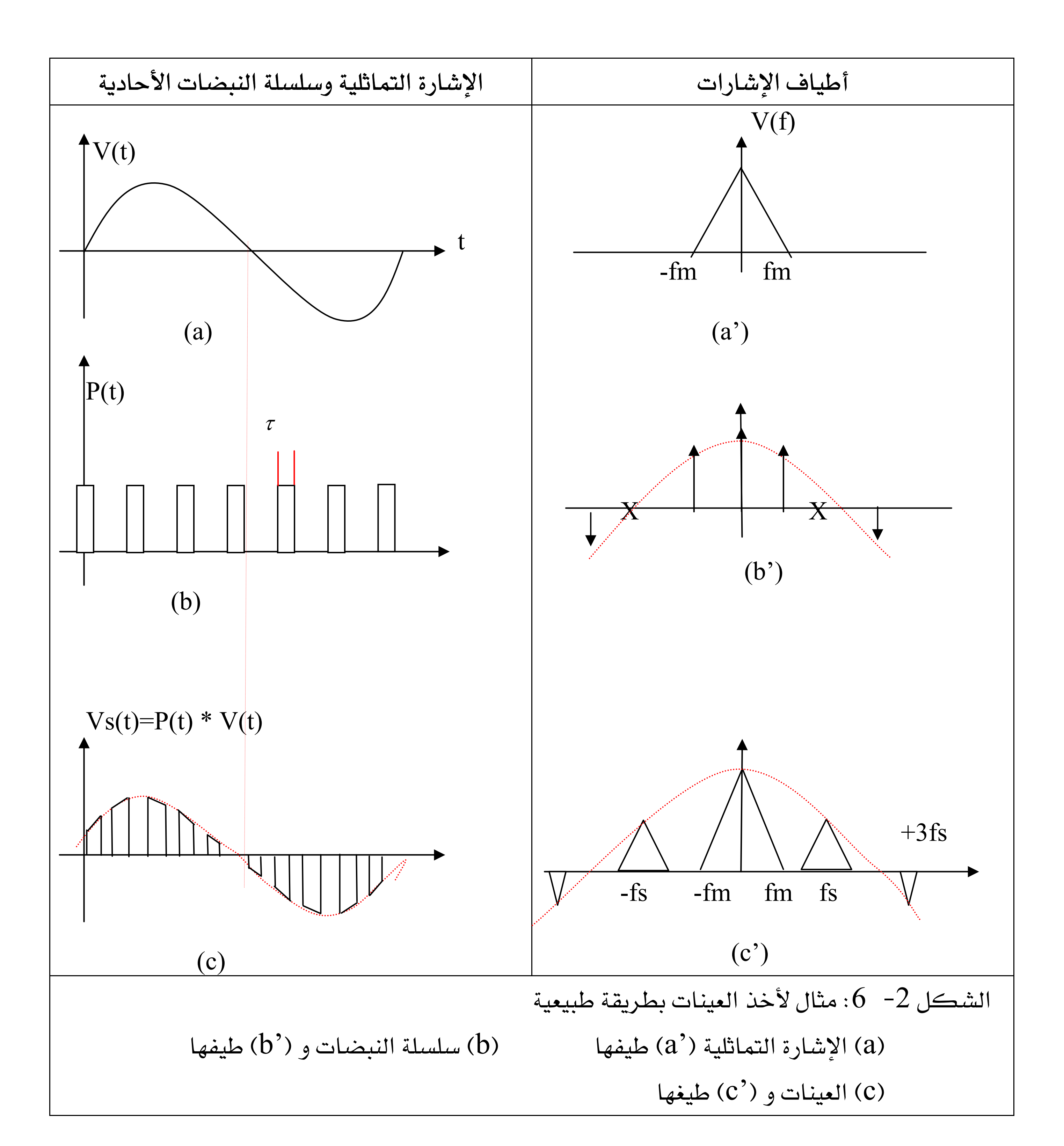
مبدأ العمل:

1) يقوم نابض ثابت (stable oscillator) بلعب دور الساعة حيث يتحكم في مذبذب متعدد الحالات (multivibrator) الذي ينشئ نافذة ضيقة تؤخذ خلالها العينة في كل دورة
2) تطبق هذه النافذة (النبضة) على الإشارة التماثلية التي تمر فقط خلال هذه النافذة، وبذلك تم أخذ العينة
3) لاسترجاع النبضة يتم لاحقاً استعمال مرشح إمرار منخفض (LPF) بتردد قطع (cutoff frequency fcut) يفوق أعلى تردد (fm) في الإشارة التماثلية.

2 - 1- 3- 3 طريقة المستويات المسطحة لأخذ العينات (flat-top sampling)

يتم استعمال نبضات مستطيلة وتأخذ العينة قيمة تبقى ثابتة خلال دورة النبضة وهي القيمة المسجلة في نقطة أخذ العينة أي نقطة بداية النبضة (أنظر الشكل 2- 6).

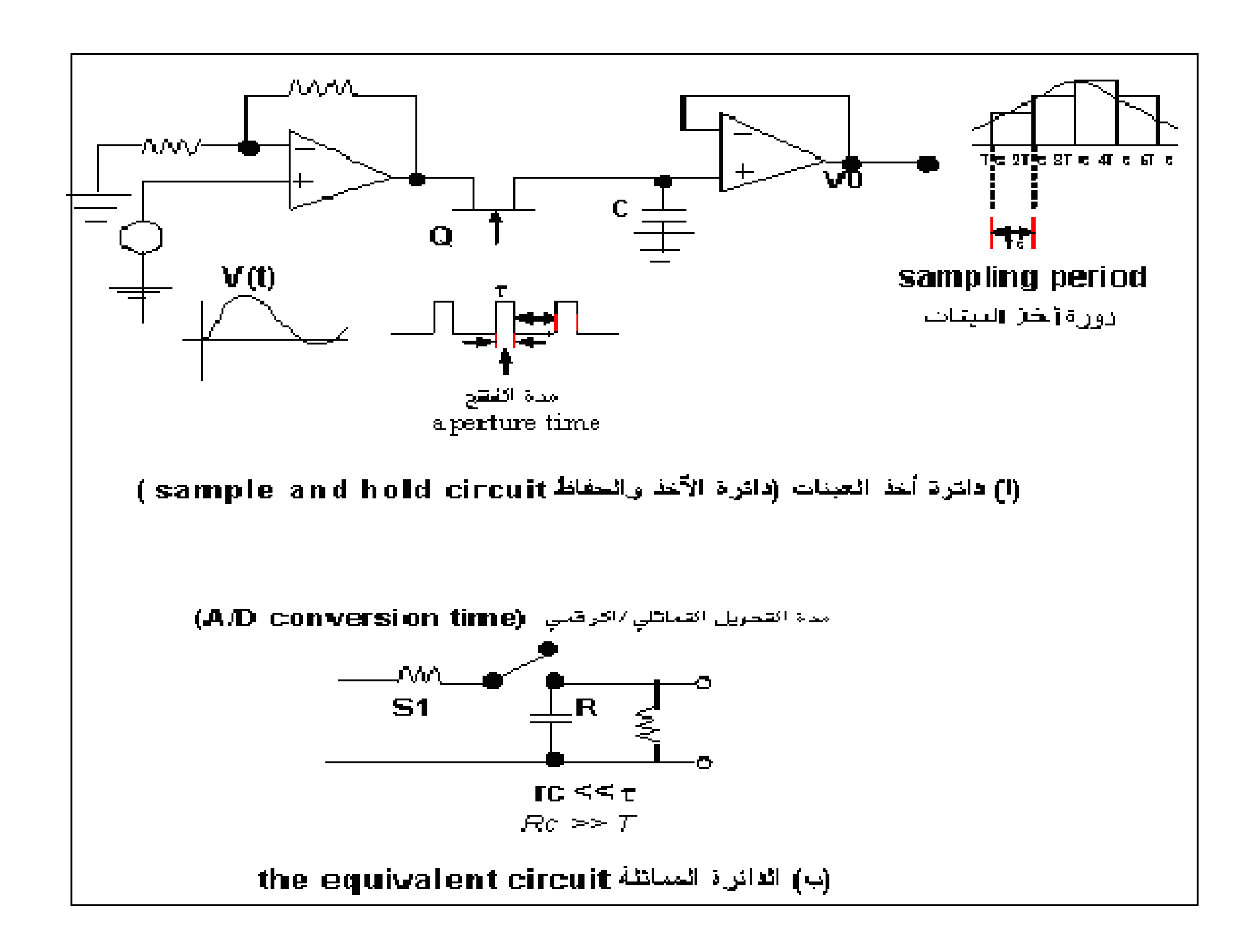
إنشاء العينات يتم هنا بواسطة دائرة كهربائية لأخذ العينة والمحافظة عليها خلال مدة النبضة (sample and hold circuit). (انظر الشكل 2- 7).



الشكل 2- 6: مثال لأخذ العينات بطريقة طبيعية

(a) الإشارة التماثلية (a') طيفها (b) سلسلة النبضات و (b') طيفها

(c) العينات و (c') طيغها

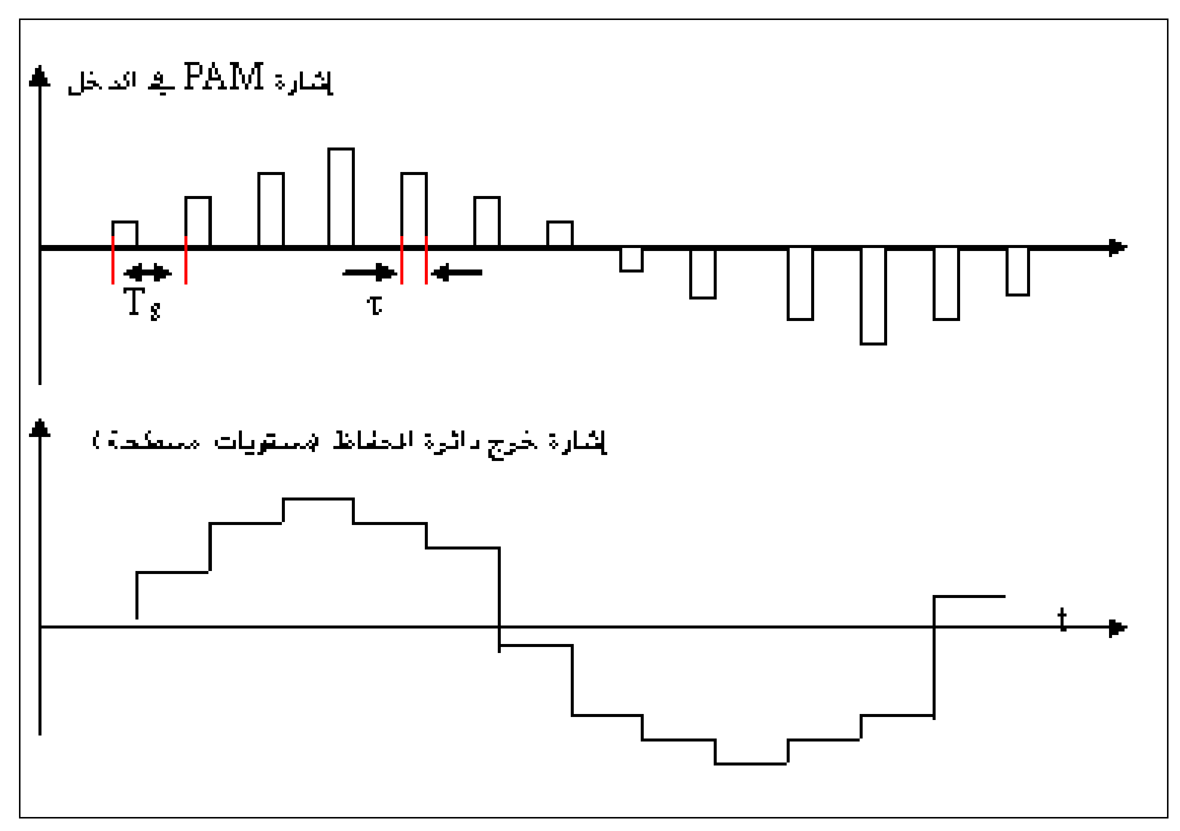


الشكل 2- 7 : معدات أخذ العينات بطريقة المستويات المسطحة

مبدأ العمل:

1) يعمل الترانزستور (FET) كمفتاح لأخذ العينات
2) عندما يفتح يشحن المكثف بسرعة
3) عندما يغلق، لا يفقد المكثف شحنته إلا بعد قراءتها.
4) في الشكل يلعب الترانزستور (FET) دور الأخذ (sample) بينما يقوم المكثف C بدور الحفاظ (hold).

تأخذ الموجة شكلاً ذا مستويات مسطحة كما نرى في الشكل 2- 8. سلسلة النبضات المستطيلة الدورية المستعملة والإشارة التي نحصل عليها عندما نستعمل طريقة المستويات المسطحة.



الشكل 2- 8: مثال لأخذ العينات بطريقة المستويات المسطحة

2- 2 عرض النطاق في تضمين سعة النبضات

1) يحتوي طيف الإشارة في تضمين سعة النبضات PAM على طيف النطاق الأساسي (base band) وتكرارات لهذا الطيف مركزة في ترددات تساوي أضعاف تردد أخذ العينات f_s. (انظر الشكل 2- 4)

2) تضعف سعة التكرارات بازدياد التردد نظراً لوجود الضارب $\sin c(x) = \frac{\sin x}{x}$ الذي يصغر كلما كبر x. لذلك يجب نقل عدد كاف من هذه التكرارات فقط للمحافظة على جودة الإشارة،

3) قيمة تقريبية جيدة لعرض النطاق اللازم للحفاظ على الجودة هي:

$$B_T = \frac{K1}{\tau} \qquad (2-9)$$

حيث τ هو عرض النبضة و

الضارب K1 هي قيمة ثابتة تحدد باعتبار الفراغات بين النبضات وحدة تردد القطع (cut off frequency $f_{cut\ off}$). تحدد قيمة K1 بين 0 و 1 وتؤخذ لها القيمة 5.0 في جل الحالات.

استعمالات تضمين سعة النبضات PAM:

- الجزء الأول من تضمين شفرة النبضات PCM
- في التجميع بالتقسيم الزمني TDM

مسألة 2- 1

لتكن V(t) إشارة تماثلية وطيف سعتها كما نرى في الشكل أسفله ولنفرض تردد أخذ عينات fs = 5KHz ، وعرض كل عينة $\tau = 40\mu s$.

(ا) ارسم طيف إشارة العينات (من إلى أول مرور لسلسلة النبضات بنقطة الصفر)

(ب) احسب عرض نطاق النقل بالنسبة ل K1 = 0.5 و K1 = 1.0.

(ت) عدد كل الترددات أقل من 25 KHz في الطيف.

مسألة 2- 2

لتكن V(t) إشارة تماثلية تمتد تردداتها من 0 إلى 8KHz. حدد

(ا) احسب التردد النظري الأدنى لأخذ العينات

(ب) احسب المسافة القصوى بين عينتين متتاليتين

مسألة 2- 3

حدد بالنسبة للإشارة V(t) المعطاة في المسألة السابقة 2- 1 أقل تردد لأخذ العينات في حال كان عرض الشريط الاحتياطي يساوي 6KHz.

(ملحوظة: شريط الاحتياط هو الفارق بين أعلى تردد في النطاق الأساسي وأدنى تردد في المكون الطيفي الذي يليه مباشرة.

مسألة 2- 4

لنفرض إشارة V(t) تمتد على مدى ساعة واحدة، بينما يمتد طيفها من dc إلى 4 kHz. يتم أخذ عينات هذه الإشارة ثم تحويل العينات إلى أرقام وتخزينها في الذاكرة. يختار تردد أخذ عينات يفوق التردد النظري الأدنى بـ 50٪.

(ا) حدد أصغر عدد ممكن للعينات في هذه الحالة

(ب) حدد المسافة الزمنية بين عينتين متتاليتين

مسألة 2- 5

يعمل نظام معالجة إشارات رقمية بتردد قدره 10000 عينة في الثانية (10000 Hz). حدد أكبر تردد ممكن في الإشارة التماثلية، إذا كان شريط الاحتياط (الفارق بين أعلى تردد في النطاق الأساسي وأدنى تردد في المكون الطيفي الذي يليه مباشرة guard band) يساوي 4KHz.

مسألة 2- 6

لنفرض أن fs=9KHz، احسب fm، علماً بأن fs- fm تكبر fm بـ 25٪.

مسألة 2- 7

يتم أخذ عينات إشارة جيبية ذات تردد أقصى قدره 500 Hz وذلك بمسافة أخذ عينات قدرها 0.25ms . احسب كل الترددات التي لا تفوق 18KHz في إشارة العينات.

مسألة 2- 8

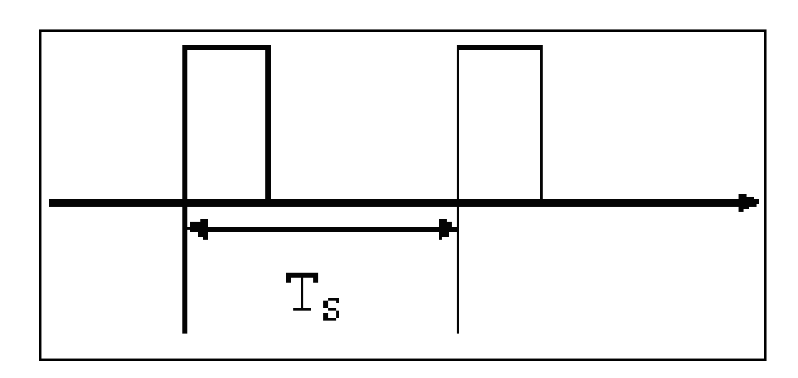
تتكون إشارة تماثلية من إشارتين جيبيتين بترددين قدرهما 1 KHz و 2 KHz. يتم أخذ عيناتها بمسافة قدرها 0.1ms ثم تحويلها إلى رقمية بغية معالجتها بالحاسب الآلي. عدد كل الترددات الموجبة الأقل من 35KHz.

2- 3 تجميع الإشارات المضمنة بسعة النبضات بواسطة التقسيم الزمني

(TDM of PAM signals)

التجميع بواسطة التقسيم الزمني: إشارات متعددة ترسل في مجموعة واحدة خلال دورة أخذ العينات التي تتقاسم فيها الإشارت حيزات زمنية متساوية. ترسل المجموعة كاملة على نفس التردد. يتم خلال الدورة أخذ عينة واحدة من كل إشارة وذلك بصفة تسلسلية (sequentially).

تجميع الإشارات المضمنة بسعة النبضات بواسطة التقسيم الزمني : يوجد بين العينتين المتتاليتين من كل إشارة مضمنة بسعة النبضات فراغ كالآتي.



الشكل 2- 9: دورة أخذ العينات

المبدأ:

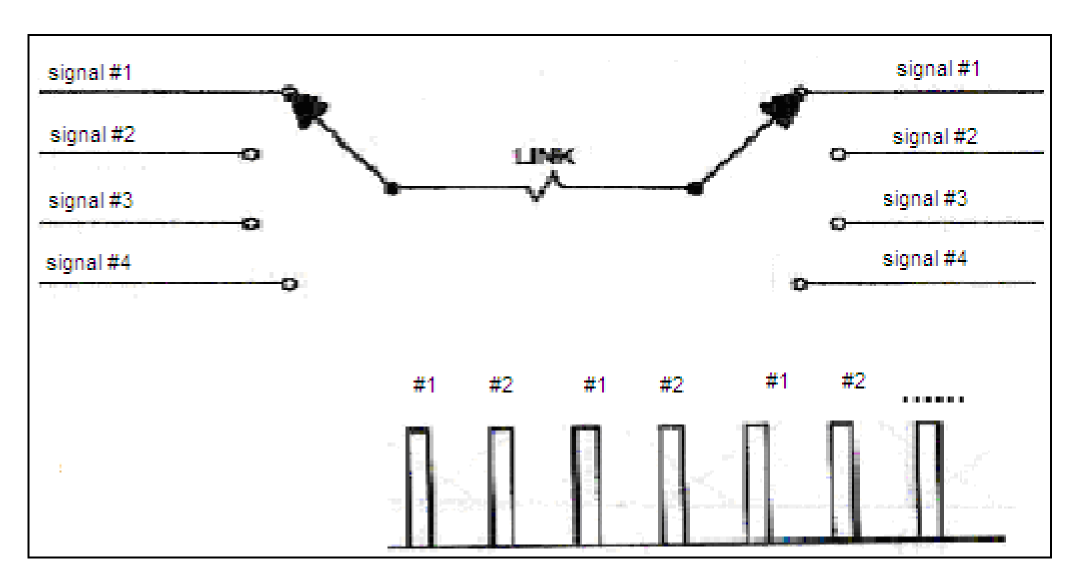
1) تجمع عينات من إشارات مختلفة (عينة واحدة من كل إشارة!) في إطار طوله T_s ، يقسم إلى حيزات زمنية عددها يساوي عدد الإشارات، تحتل كل عينة حيزاً ثابتاً خلال عملية الإرسال.
2) يشمل الإطار الأول العينات الأولى أي العينة الأولى من كل إشارة،
3) يشمل الإطار الثاني العينات الثانية أي العينة الثانية من كل إشارة، وهكذا دواليك ....
4) ترسل الإطارات على التوالي (تسلسلياً)،
5) لكي نحافظ على التسلسل الزمني الصحيح، ترسل إشارات تزامن في أول أو آخر كل إطار.

2- 3- 1 أصناف التجميع بالتقسيم الزمني:

2- 3- 1- 1 التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات لها نفس تردد أخذ العينات:

(1) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارتين فقط

يعطي الشكل التالي 2- 9 مثالاً بسيطاً للتجميع بالتقسيم الزمني لإشارتين فقط هما $V_1(t)$ و $V_2(t)$.



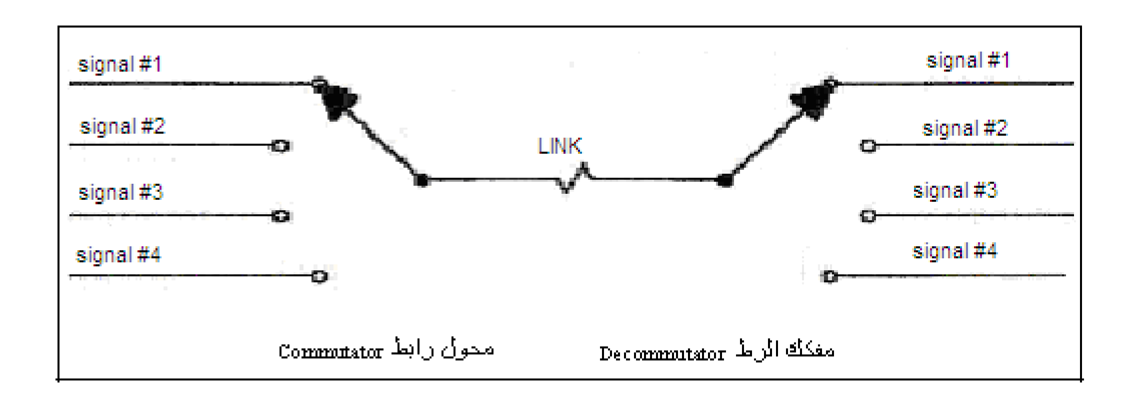
الشكل 2- 10: تجميع إشارتين بطريقة التقسيم الزمني

- يتردد المفتاحان بين الوضعيتين 1 و 2 حيث تؤخذ عينة واحدة فقط من كل من الإشارتين في الدورة الواحدة،
- يعني ذلك إرسال عينتين على قناة الإرسال خلال كل دورة (T_S). يعني ذلك أن نسق مرور البيانات في قناة الإرسال هو ضعف نسق تدفق البيانات على قنوات الدخل.

(2) التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات متعددة

يعطي الشكل التالي مثالاً بسيطاً للتجميع بالتقسيم الزمني لإشارات متعددة هما signal #1 إلى و signal #4. (نكتفي بأربع إشارات للتبسيط!)

- نحتاج هنا إلى محول رابط (commutator) في الدخل ومفكك الربط (decommutator) في الخرج.
- تتم هذه العملية آلياً في المعدات العصرية، لكننا نفضل هنا أن نعطي مثالاً للتوضيح باستعمال الوسائل الميكانيكية القديمة، كما يبين ذلك الشكل 2- 11 الموالي.



الشكل 2-11: تجميع أكثر من إشارتين بطريقة التقسيم الزمني وباستعمال جامع ومفكك

(3) يقوم المحول الرابط في الدخل بأخذ العينات تسلسلياً خلال دورة واحدة باحترام مبرهنة أخذ العينات (sampling theorem) أي بتردد لا يقل عن تردد نايكوست الذي يعادل $(f_N = 2fm)$.

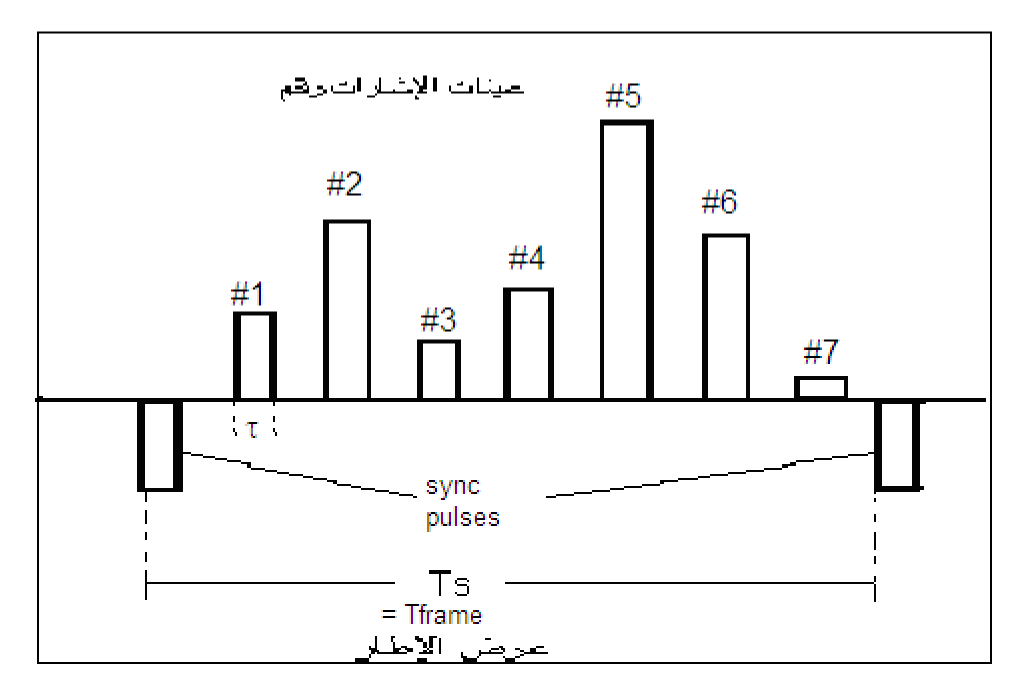
(4) هنالك تزامن بين المحول الرابط في الدخل والمفكك في الخرج حيث يقوم الأخير بإيصال كل إشارة إلى وجهتها الصحيحة

(5) يعطي الشكل 2- 11 مثالاً لإشارة مركبة من 7 إشارات مجمعة من 7 خطوط مختلفة تكون إطاراً واحداً

المدة الزمنية الفاصلة بين عينتين متتاليتين في الإطار هي $\tau = T_S/7$ وذلك لتفادي التداخل.تستعمل هنا طريقة المستويات المسطحة في أخذ العينات.

يشمل الإطار كما رأينا سابقاً العينات السبع ونبضات تزامن لضمان النقل الصحيح.

(6) يتم التزامن بطرق مختلفة. الطريقة المستعملة هنا تتم بزيادة سعة النبضات لجعلها موجبة كلها ثم إدخال نبضات سالبة تمثل نبضات التزامن كما نرى في الشكل التالي 2- 12.



الشكل 2- 12: تجميع 7 عينات و نبضة تزامن في إطار واحد

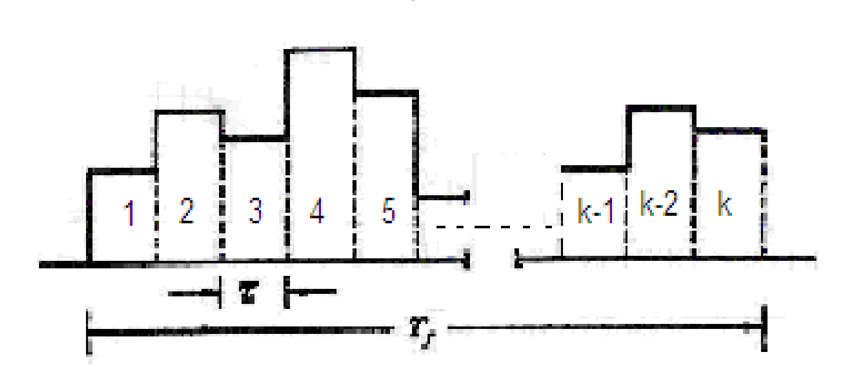
أدنى عرض نطاق بالنسبة لتجميع تضمين سعة النبضات بالتقسيم الزمني

(1) لكي نرسل عدداً كبيراً من القنوات، يكون الحيز الزمني المخصص لكل عينة صغيراً نسبياً مقارنة مع عرض الإطار أي إن الكسر $\frac{\tau}{Tframe}$ يكون أقل بكثير من 1.

(1) عرض النطاق في الحالة المثلى

- $fs = f_N = 2fm$
- لا توجد فراغات بين العينات
- لا توجد نبضات تزامن
- عرض نطاق الإشارة الواحدة هو $B = \frac{0.5}{\tau}$ وبذلك يكون عدد العينات N في الإطار الواحد هو: $k = \frac{Ts}{\tau}$

مجموعة الإشارات



الشكل 2- 13: عدد العينات k في الإطار الواحد.

حساب العرض:

(أ) لو فرضنا k إشارة تماثلية، وأن عرض نطاق كل واحدة منها هو fm وأن هذه الإشارات يجب أن تؤخذ منها عينات وأن تجمعها بطريقة التقسيم الزمني لترسل على نظام نقل ما.

(ب) نحصل في هذه الحالة على القيم التالية:

$$fs = 2fm, \qquad Ts = \frac{1}{2fm}, \qquad Tframe = \frac{1}{2fm} \tag{10-2}$$

(ت) يحتوي كل إطار على k عينات وبذلك يكون عرض الحيز الزمني المخصص لكل عينة هو

$$\tau = \frac{Tframe}{k} \tag{11-2}$$

(ث) أما أدنى تردد فهو

$$B = \frac{0.5}{\tau} = \frac{0.5}{\frac{Tframe}{k}} = \frac{0.5}{Ts/k} = \frac{0.5k}{Ts} \tag{12-2}$$

$$\frac{0.5k}{1/2fm}$$

$= \qquad = 0.5\ k\ (2fm) = k\ X\ fm$

$B_T = k\ fm \qquad$ for the ration $B = \frac{1}{\tau}$

(13-2) $\qquad BT = 2k\ fm.$

وهكذا فإن عرض النطاق بالنسبة للإطار الواحد (أي عند النقل) =
عرض نطاق الإشارة الواحدة X عدد الإشارات المنقولة.

ملحوظات:

- كلما ازداد عدد القنوات، ازداد عرض النطاق اللازم لنقلها،
- إذا أخذنا بعين الاعتبار الفراغات ونبضات التضامن، يصبح لدينا:

- في حالة $fs = 2fm$

(14 -2) $\qquad BT = L\ X\ fm$

حيثإن :

L = number of spaces + sync + data pulses

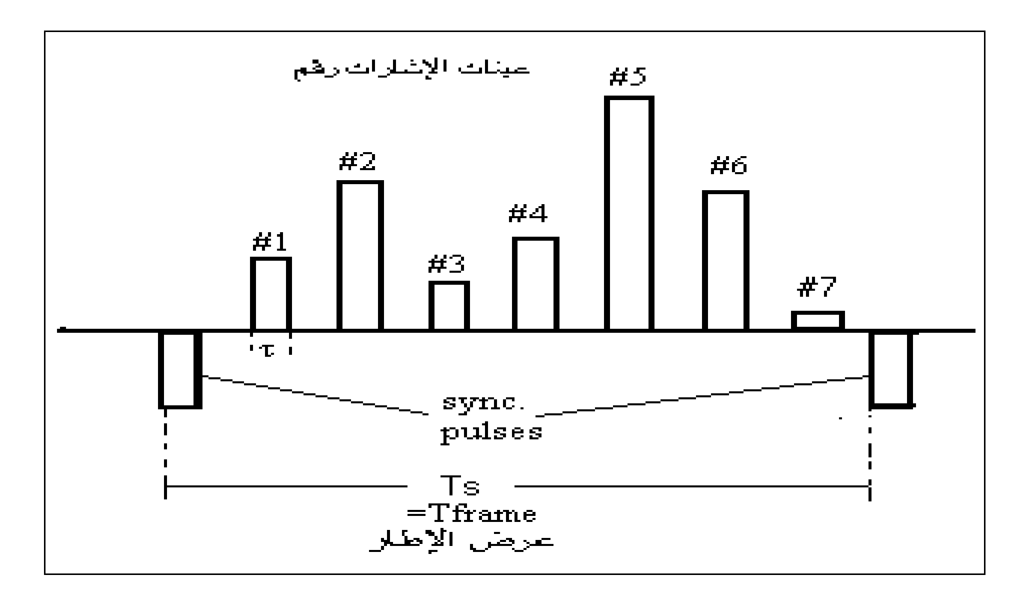
أما في حالة $fs > 2fm$ فلدينا

(15 -2) $\qquad BT = L\ x\ \frac{Fs}{2}$

المسألة 2- 9 :

لنتأمل تجميع 7 إشارات من صنف PAM بواسطة التقسيم الزمني وكل من هذه الإشارات تملك عرض نطاق $BW = 1\ kHz$ ، حدد عرض النطاق الأدنى.

المسألة 2- 10 : لنتأمل تجميع 7 إشارات من صنف PAM بواسطة التقسيم الزمني حسب الطريقة التي نراها في الشكل 2- 12 أسفله، حدد عرض النطاق الأدنى:



الشكل 2- 14 تجميع 7 إشارات ونبضة تزامن بالتقسيم الزمني

لنفرض أن Fs = 1.25 fN

ا) حدد عرض النطاق المطلوب بالنسبة للإشارة المجمعة

ب) لنفرض أن الإشارة المركبة تضمن لحامل عالي التردد ، حدد عرض النطاق المطلوب بالنسبة للإشارة العالية التردد.

2- 3- 1- 2 التجميع بالتقسيم الزمني لإشارات لها ترددات مختلفة لأخذ العينات : (Multiplexing of dissimilar channels)

توجد طريقتان للتجميع بواسطة التقسيم الزمني في حال إشارات تجميع إشارات ذات ترددات متباينة. وهما التجميع غير المتزامن والتجميع باستعمال التبديل الأدنى والأقصى (sub and super commutation).

1) الأخذ غير المتزامن للعينات

- أخذ العينات من كل الإشارات بتردد يعادل أو يفوق تردد نايكوست بالنسبة للإشارة ذات أكبر عرض نطاق
- تستعمل ذاكرة لأخذ العينات ثم توزيعها بمعدل معين ثابت (fixed rate)
- هذه الطريقة لا تصلح في وجود فرق كبير في عرض النطاق بين الإشارات

2) طريقة استعمال التبديل الأدنى والأقصى

- تفترض هذه الطريقة أن تكون كل الترددات أضعافاً لتردد معين
- يتم في بعض الحالات أخذ العينات بتردد أعلى من اللازم كي نلبي الشرط أعلاه. فلو كان هناك مثلاً إشارتان بترددين هما 8 kHz و 15.5 kHz ، فإننا نأخذ 16 kHz.

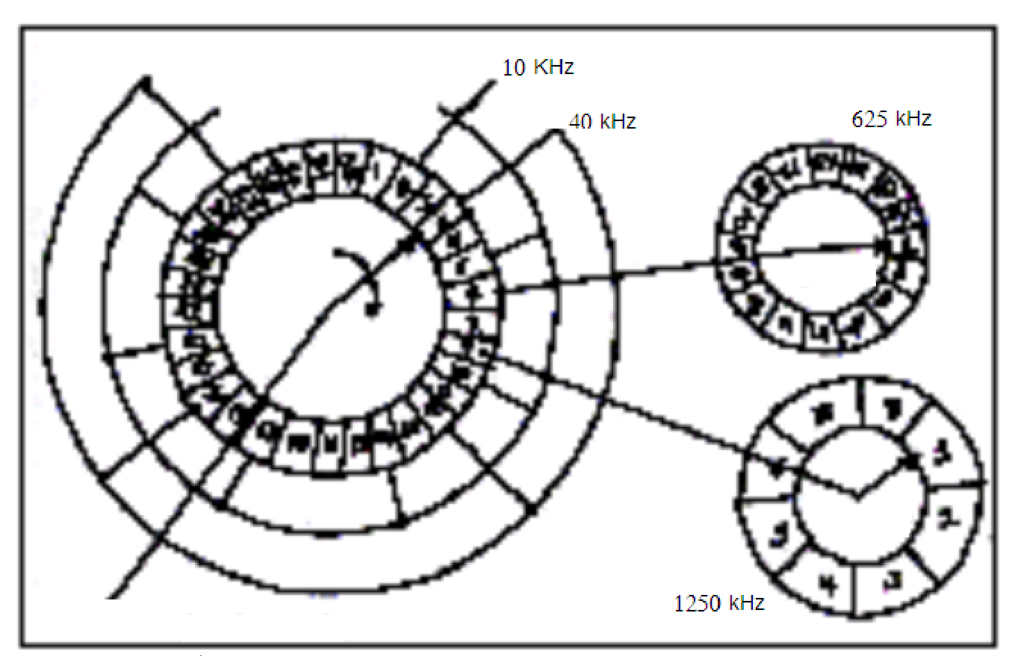
مفهوم التبديل الأدنى والأقصى:

يمكن تفسير التبديل الأدنى والأقصى بواسطة المثال التالي:

لنفرض أننا نريد أخذ العينات من الإشارات التالية

- قناة واحدة بمعدل 80 kHz
- قناة واحدة بمعدل 40 kHz
- 18 قناة بمعدل 10 kHz
- 8 قنوات بمعدل 1250 Hz
- 16 قناة بمعدل 625 Hz

ويتم استعمال عجيلة بدّال متكونة من 16 حيّزاً كما يبين الشكل 2- 14.



الشكل 2- 15: عجيلة البدال ذات ال32 حيزاً

كيف ننفذ طريقة أخذ العينات بنسب مرتفعة تارة ومنخفضة أخرى؟

تنفيذ الطريقة:

أ) تمثل كل نسب أخذ العينات أضعافاً ل 625 هرتز. وهذا يتفق مع شرط اختلاف الترددات

ب) لنفرض أن النسبة الأساسية لدوران عجلة المبدل هي 10000 دورة في الثانية

ت) القنوات ذات الترددات العالية تؤخذ عيناتها بتردد مشترك عالٍ، يعني ذلك

- تأخذ كل من ال18 إشارة بتردد 10 kHz حيزاً واحداً على العجيلة، أي أنها ستأخذ من كل إشارة منها عينة واحدة في كل دورة
- تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz 4 حيزات على العجيلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة
- تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz 4 حيزات على العجيلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة
- تأخذ الإشارة بتردد 80 kHz 8 حيزات على العجيلة، أي أنها ستأخذ منها ثماني عينات في كل دورة
- تأخذ الإشارة بتردد 40 kHz 4 حيزات على العجيلة، أي أنها ستأخذ منها أربع عينات في كل دورة

أما القنوات ذات الترددات التي تقل عن 10 kHz فتؤخذ عيناتها فقط عند دورات معينة، يعني ذلك مثلاً

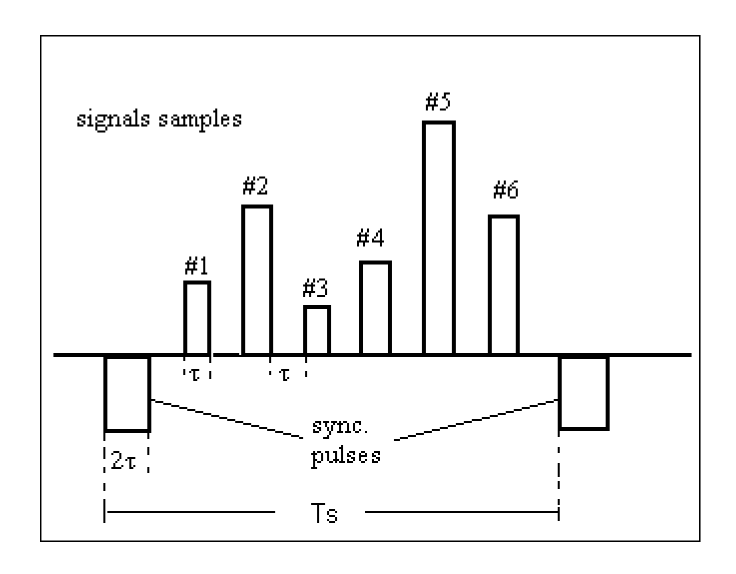
- تؤخذ عينة واحدة من الإشارة ذات تردد 1250 Hz كل ثمان دورات،
- تؤخذ عينة واحدة من الإشارة ذات تردد 625 Hz كل 16 دورة.

تتطلب هذه الطريقة أن يبدل بين القنوات ذات تردد 1250 Hz بواسطة عجيلة تدور بسرعة 1250 دورة في الثانية، حيث يتم ربط قناة واحدة بالعجيلة الرئيسة كل 0.1 ms. بينما يبدل بين القنوات ذات تردد 625 Hz بواسطة عجيلة تدور بسرعة 625 دورة في الثانية، حيث يتم ربط قناة واحدة بالعجيلة الرئيسة كل 0.2 ms.

مسألة 2- 11:

يجمع نظام PAM/TDM 6 إشارات مع إشارة تزامن تحتل مسافة زمنية قدرها 2τ بينما تحتل كل إشارة مسافة زمنية قدرها τ. كما يوجد بين العينة والأخرى فراغ قدره τ. يكتشف المستقبل إشارة التزامن مرة في كل إطار (هي الأعرض!).

حدد عرض النطاق التقريبي الذي تحتاجه الإشارة المركبة علماً بأن لكل إشارة عرض نطاق يساوي 1 kHz.



الشكل 2- 16 أخذ 6 عينات وإشارة تزامن مع وجود فراغات بينها.

احسب عرض نطاق (تردد) البت إذا كان fs = 1.5 fN .

إذا استعملت الإشارة المركبة كحامل عالي التردد في تضمين السعة، احسب عرض النطاق بالنسبة للإشارة عالية التردد

مسألة 2- 12:

أعد حساب المسألة 2- 11 في حال كان fs = 2fN.

2- 4 التضمين التماثلي للنبضات
(Pulse Analog Modulation)

2- 4- 1: تمهيد

التضمين التماثلي للنبضات: تستعمل سلسلة نبضات مترددة كموجة حاملة ويتم تغيير خاصيات النبضات وهي السعة (amplitude) والمدة أو العرض(duration or width) و المكان (position) حسب قيمة العينات.

- **تضمين سعة النبضات (Pulse Amplitude Modulation: PAM)**

يكون هنا ارتفاع النبضة (سعة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها. نحصل بذلك على

Pulse height = V α Vs

حيث إن : V_s هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و Vα هو عامل تناسب السعة.

- **تضمين عرض النبضات (Pulse Width Modulation: PWM)**

يكون هنا عرض النبضة (مدة الموجة الحامل في النقطة الزمنية المحددة) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها. نحصل بذلك على

Pulse width = τ_α Vs

حيث إن : Vs هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و τ_α هو عامل تناسب المدة.

- **تضمين مكان النبضات (Pulse Position Modulation: PPM)**

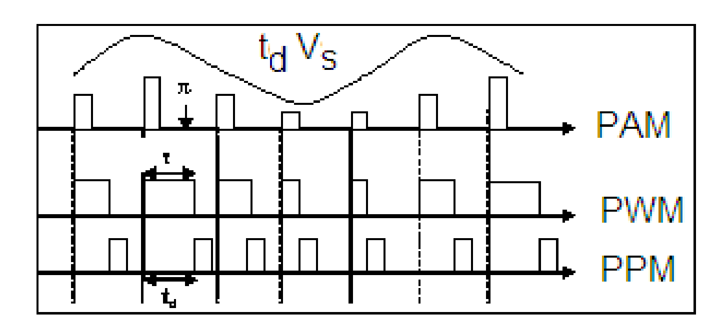
يكون هنا موقع النبضة في الدورة (تأخيرها عن نقطة بداية الدورة أي بداية نبضة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها. نحصل بذلك على

Pulse position = t_d Vs

حيث إن : Vs هي سعة العينة في النقطة الزمنية t

و t_d هو عامل تناسب الموقع.

يظهر الشكل 2- 16 الأصناف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.



الشكل 2- 17 الأصناف الثلاثة لتضمين النبضات التماثلي.

- **مزايا تضمين النبضات وعيوبه:**

ا) المزايا:

- يتم الإرسال بتردد منخفض وذلك مناسب للمعدات كمعدات الميكروويف والليزر مثلاً
- يمكن ملء الفراغات بين عينات الإشارة الواحدة بعينات من إشارات أخرى وهو ما يتماشى مع متطلبات التجميع الزمني الذي سندرسه لاحقاً في هذا المساق

ب) العيوب:

- يتطلب عرض نطاق عالٍ يمكن أن نستغله بإرسال مزيد من الإشارات.

2- 4- 2 أصناف تضمين النبضات

2- 4- 2- 1 تضمين سعة النبضات (Pulse Amplitude Modulation: PAM)

يكون هنا ارتفاع النبضة (سعة الموجة الحاملة في النقطة الزمنية المحددة) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

- كلما كانت العينة مرتفعة، كلما كانت سعة النبضة أكبر

2- 4- 2- 2 تضمين عرض النبضات

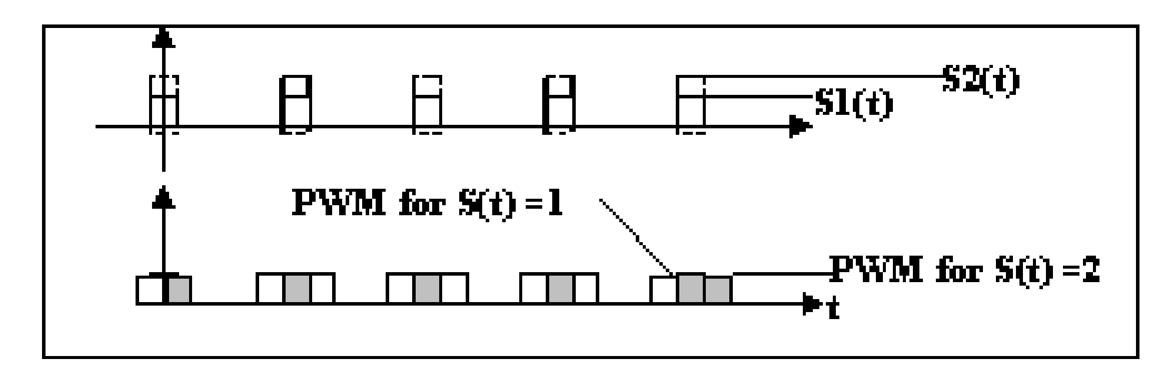
(Pulse Width Modulation: PWM)

أو (Pulse Duration Modulation: PDM)

يكون هنا عرض النبضة (مدتها) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

- كلما كانت العينة مرتفعة، كلما كانت مدة النبضة أطول،
- بما أن عرض النبضة غير ثابت، فإن طاقة الموجة غير ثابتة كذلك، فكلما كانت العينات مرتفعة كلما زادت الطاقة
- تضمين عرض النبضات تضمين لا خطي.

يظهر الشكل 2- 18 هذا التضمين.



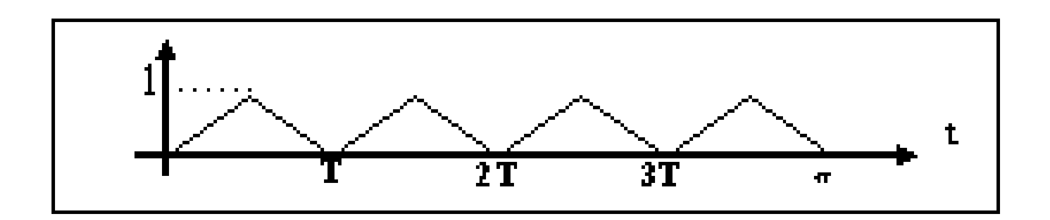
الشكل 2- 18 تضمين عرض النبضات.

وصف تضمين عرض النبضات:

1) إذا كانت الإشارة المضمنة ثابتة، أي $S_{Ts}(t)=1$ مثلاً، يكون عرض سلسلة النبضات ثابتاً كذلك

2) لو كان $S_{Ts}(t)=2$، تكون نبضات السلسلة متساوية لكنها أعرض من النبضات التي نحصل عليها في حالة $S_{Ts}(t)=1$،

3) يمكن التحويل بين تضمين عرض النبضات و تضمين سعة النبضات لأن بينهما علاقة. يتم التحويل مثلاً باستعمال إشارة المنشار التي نراها في الشكل 2- 19 أسفله



الشكل 2- 19 إشارة المنشار للتحويل بين تضمين عرض النبضات و تضمين سعة النبضات

لاحظ: تضمين عرض النبضات هو أقل تأثراً بالضجيج من تضمين سعة النبضات، لكن الطاقة تتغير بتغير سعة العينات وهو ما ينقص من فعالية هذا التضمين.

2- 4- 2- 3 تضمين موقع النبضات
(Pulse Position Modulation: PPM)

يكون هنا موقع النبضة (مدتها) تناسبياً لسعة الإشارة المضمنة $S_{Ts}(t)$ في النقطة الزمنية ذاتها.

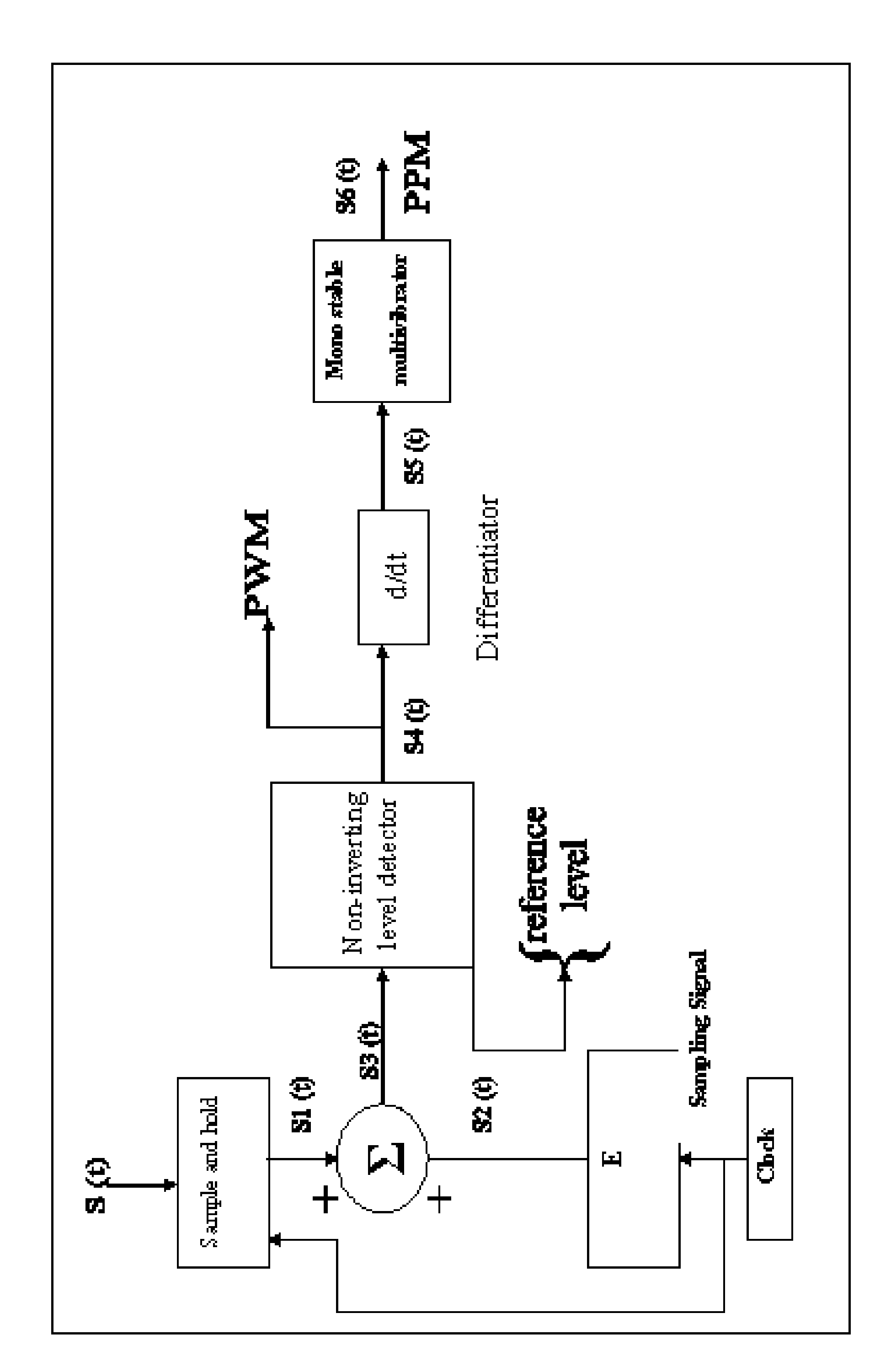
- كلما كانت العينة مرتفعة، كلما وقع تأخير موقع النبضة عن بداية الدورة
- يتمتع تضمين موقع النبضات بإيجابيات تضمين عرض النبضات ألا وهي الصلابة ضد الضجيج دون أخذ سلبيته وهي تغير الطاقة بتغير سعة العينات
- هناك علاقة بين تضمين موقع النبضات و تضمين عرض النبضات تتمثل في أن تغير موقع النبضة في الأول يعني تغير عرض النبضة في الثاني حيث إن موقع النبضة في الأول هو تماماً موقع الحافة اليمنى (الأخيرة) للنبضة في الثاني.
- يمكن استعمال ما سلف في التحويل من تضمين عرض النبضات إلى تضمين موقع النبضات كما يلي:
    - يتم أولاً استخراج الحواف اليمنى من تضمين عرض النبضات
    - يتم بعد ذلك وضع نبضات متساوية في الأماكن التي استخرجناها.

إنشاء تضمين عرض النبضات و تضمين موقع النبضات من تضمين سعة النبضات :
يعطي الشكل 2- 20 الدائرة المستعملة في الإنشاء. أما الشكل 2- 21 فيعطي الإشارات الحاصل عليها في كل مرحلة من مراحل الإنشاء. والمراحل هي:

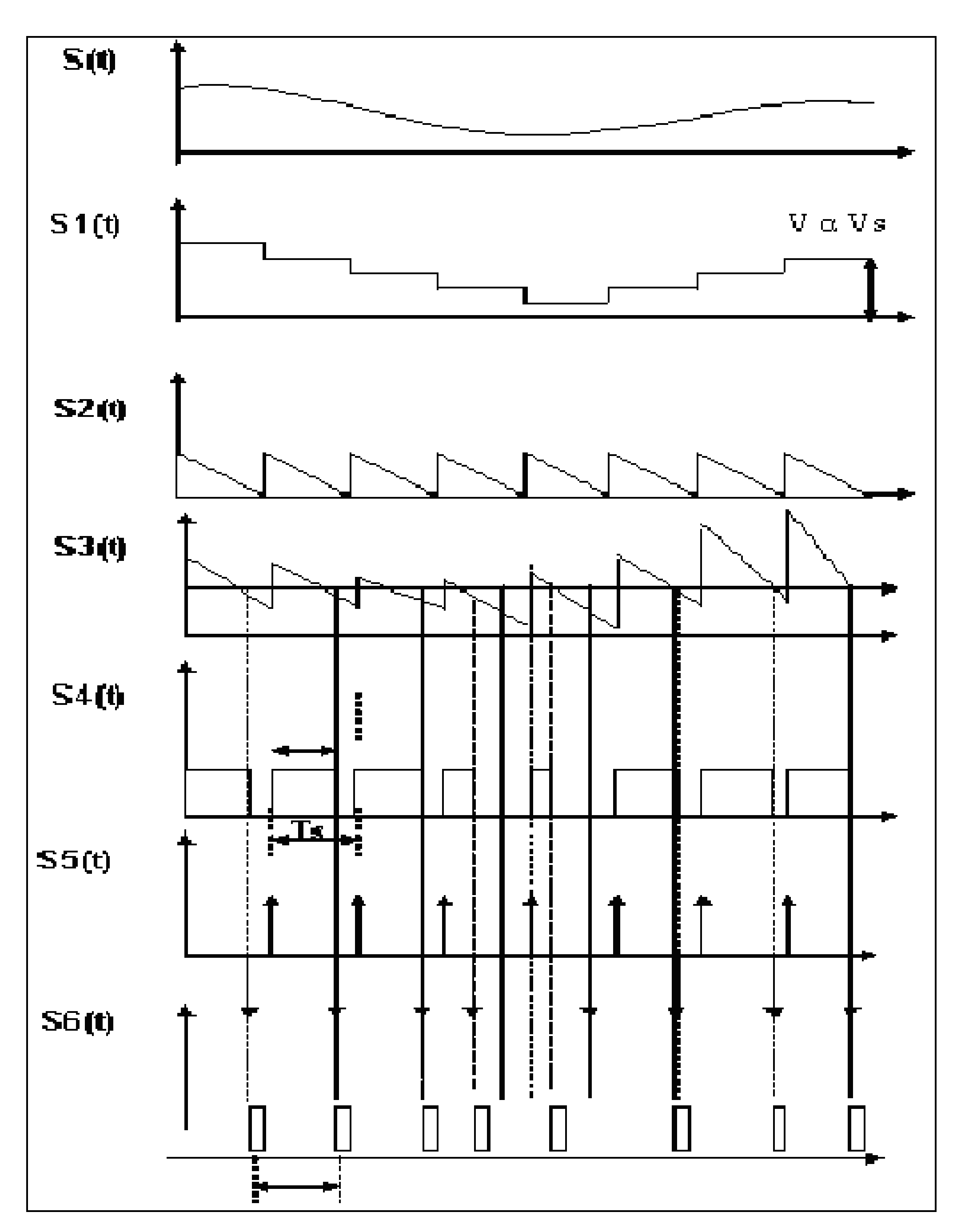
1. إنشاء إشارة PAM باستعمال دائرة أخذ العينات وهو ما يعطينا $S_1(t)$
2. يتم تحديد التزامن بالنسبة لمولد المنصة (ramp generator) وتكون الإشارة هنا هي $S_2(t)$
3. تجمع $S_1(t)$ مع $S_2(t)$ للحصول على $S_3(t)$ أي

$$S_3(t) = S_2(t) + S_1(t)$$

4. الأماكن التي يكون فيها $S_3(t)$ موجباً تمثل فترات عرضها تناسبي لقيمة العينة الأصلية
5. تطبيق دالة سن المنشار (saw tooth) على المقارن (comparator) الذي يعطي جهداً Vcc عالياً في حال $S_3(t) > V_{ref}$ و 0 عند الحال المغاير لذلك يعطي الموجة التي تمثل إشارة PWM $S_4(t)$.
6. ندخل إشارة على مفاضل (differentiator) ونستعمل الحواف اليمنى الحاصل عليها ($S_5(t)$) فنحصل على إشارة PPM $S_6(t)$.



الشكل 2- 20 الدائرة المستعملة في الإنشاء.



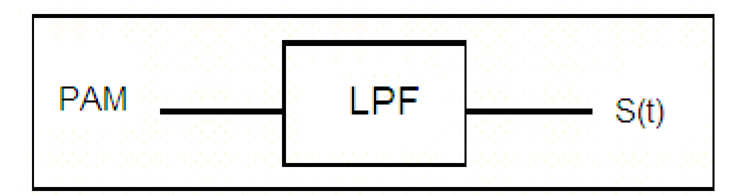
الشكل 2- 21 الإشارات التي نحصل عليها في كل مرحلة من مراحل الإنشاء.

2- 5 استخلاص تضمين سعة النبضات و تضمين عرض النبضات و تضمين موقع النبضات

(Demodulation of PAM and PWM and PPM)

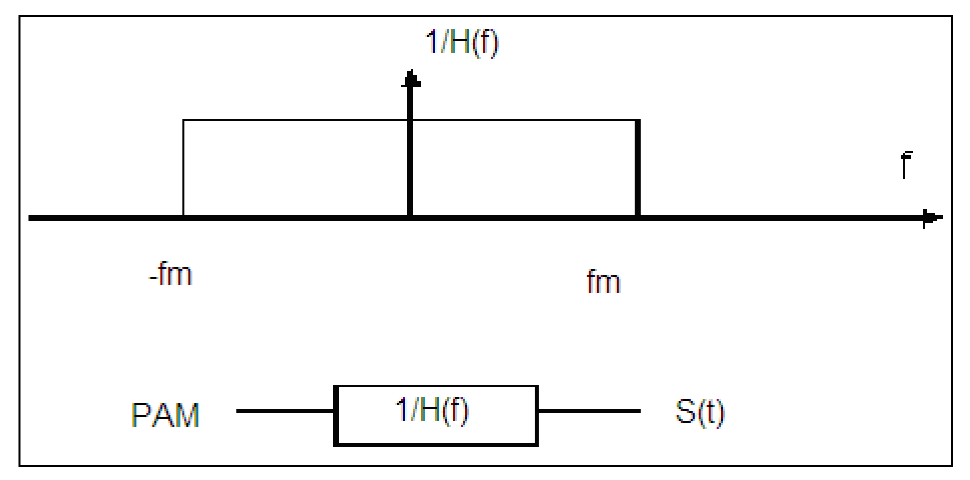
2- 5- 1 استخلاص تضمين سعة النبضات:

1) في حال كان أخذ العينات طبيعياً، يستخلص التضمين بواسطة مرشع إمرار منخفض (LPF)،



الشكل 2- 22 استخلاص الإشارة التماثلية من إشارة PAM باستعمال مرشح إمرار منخفض.

2) في حال كان أخذ العينات بشكل نقطي (instantaneous)، يستخلص التضمين بواسطة مرشح له خاصية تحويل ذات شكل (shaped transfer characteristics) يعرف باسم المسوّي (equalizer)،



الشكل 2- 23 استخلاص الإشارة التماثلية من إشارة PAM باستعمال مرشح إمرار منخفض.

3) استخلاص تضمين عرض النبضات و تضمين موقع النبضات

أ) نحول أولاً الإشارة المستقبلة إلى إشارة PAM ثم نستعمل مستقبل PAM .

2- 5- 2 تحويل تضمين عرض النبضات إلى تضمين سعة النبضات

تحويل تضمين عرض النبضات PWM إلى PAM يتم بواسطة دائرة تكميل (integrator)

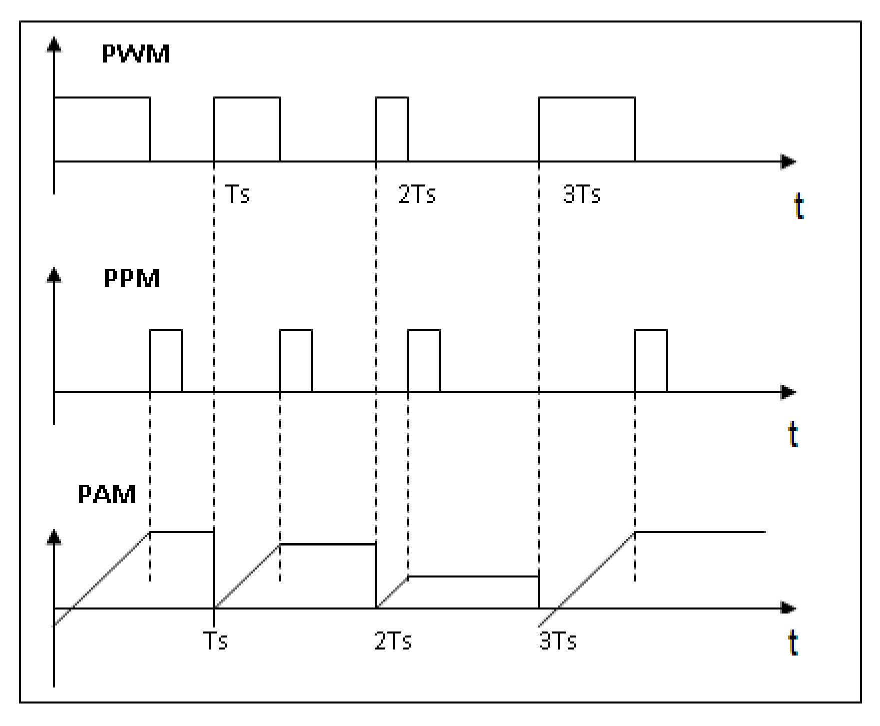
- نبدأ التكميل (integration) في نقطة أخذ العينات (sample point) ونقوم بتكملة النبضة المستقبلة. بما أن سعة النبضة ثابتة، فإن التكملة متناسبة مع عرض النبضة،
- يتم أخذ العينة من خرج المكمل قبل المرور إلى دورة أخذ العينة الموالية وتنشئ العينات شكل الموجة،
- يبين الشكل2- 24 كيفية العملية. هناك ملاحظتان هامتان بالنسبة لهذا الشكل:

أ) نستعمل تضمين عرض النبضات حيث الحافة اليسرى للنبضة في موقع العينة

ب) تتم إزاحة إشارة PAM بدورة واحدة.

2- 5- 3 تحويل تضمين موقع النبضات إلى تضمين سعة النبضات

- نبدأ التكميل في كل نقطة أخذ عينة ونجعل المكمل يكمل قيمة ثابتة
- تقف التكملة عند قدوم النبضة المولية
- بما أن النبضة في إشارة PPM تقع في الحافة اليمنى لنبضة PWM، فإنه لا يوجد فارق يذكر بين هذا التحويل والتحويل من PWM إلى PAM.
- نرى طريقة التحويل في الشكل 1- 24



الشكل 2- 24 التحويل من إشارتي PWM و PPM إلى إشارة PAM.

أساسيات الاتصالات الرقمية

تضمين شفرة النبضات

الوحدة الثالثة : تضمين شفرة النبضات

Pulse Code modulation

الجدارة: التعرف على طرق تضمين شفرة النبضاًت (الذي يعرف أيضا باسم تضمين النبضات الرقمية) التي تحصل لنا التحويل التماثلي الرقمي (الذي استعرضناه في الوحدة الأولى). وسنتناول في هذه الوحدة التضمين الرقمي للنبضات و سنتعرض أصنافه الثلاثة الهامة وهي تضمين الشفرة وتضمين السعة وتضمين الموقع فنعطي خصائص كل منها ونقارن بينها ثم نعطي أخيراً طرق التحويل بينها و نستعرض في الوحدة أيضاً طرق تشفير النبضات المختلفة لضمان نقل الإشارة الرقمية بطرق ذات جدوى وصلابة عند حدوث ضجيج خلال النقل.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪ بإذن الله .

الوقت المتوقع: 8 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودرس الوحدة الأولى من هذه الحقيبة.

3 – 1 تضمين شفرة النبضات والتزامن

تضمين شفرة النبضات: هي عملية تحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية (ثنائية) باستعمال طريقة أخذ العينات ثم التكمية فالتشفير. يعطي التشفير أعداداً ثنائية ذات طول ثابت ولكل واحد من هذه الأعداد قيمة تساوي قيمة العينة التي تمثلها الشفرة.

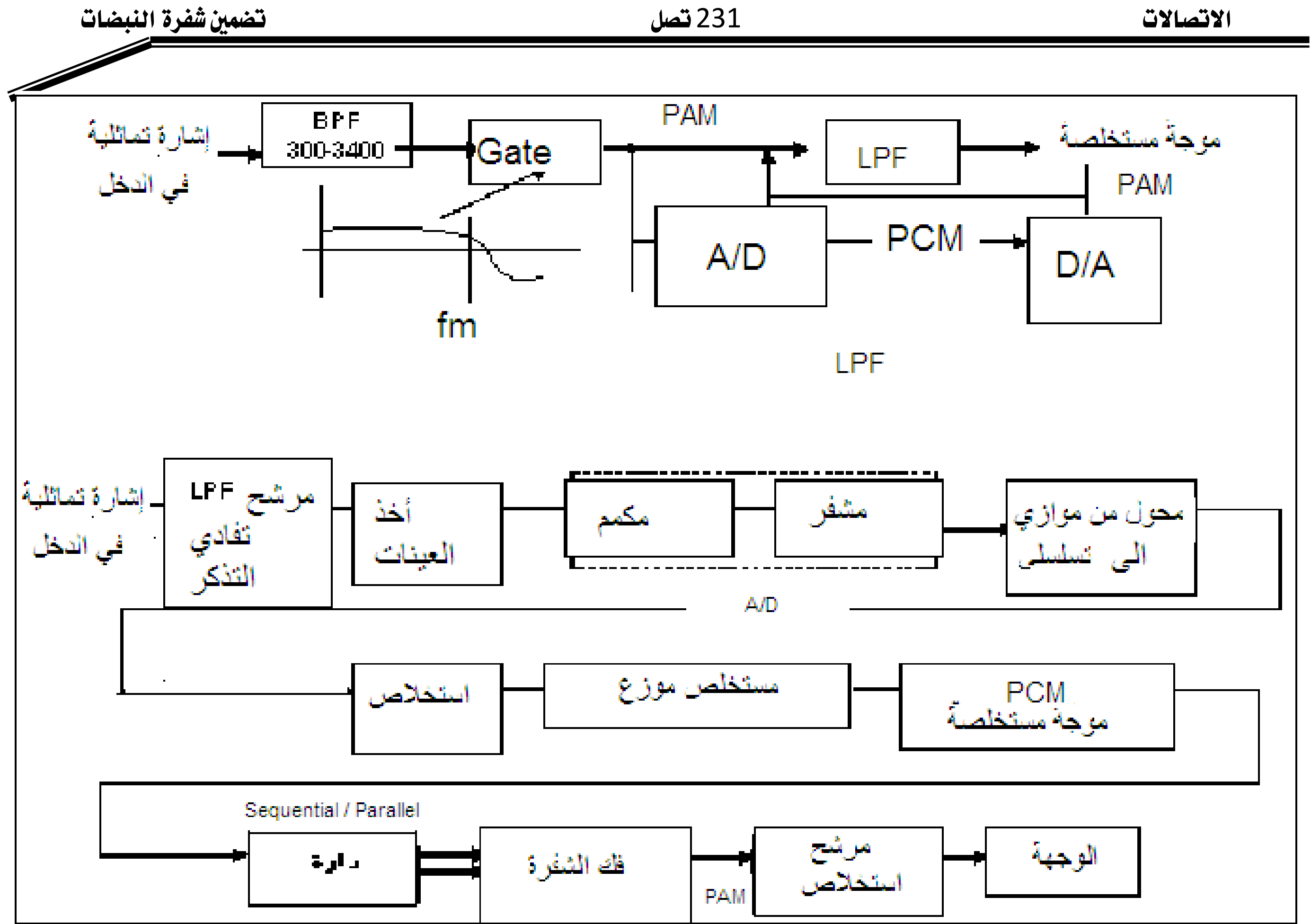
يعطي الشكل 3 – 1 سلسلة المعدات الأساسية المستعملة في تضمين شفرة النبضات.

3- 1- 1 الترقيم – لماذا؟

الإيجابيات:

1. يمكن الترقيم من استعمال التجميع الزمني () للإشارات وبذلك يتم استغلال وسائط النقل بصورة أفضل حيث تملأ الفراغات المتواجدة بين العينتين المتتاليتين من نفس الإشارة بعينات من إشارات أخرى،
2. سلاسل النبضات لا تتأثر بسهولة بالضجيج والتداخل، لأن الحصانة ضد الضجيج والتداخل مرتفعة جداً في حالة الإشارات الرقمية لأن الآحاد لا تتحول بسهولة إلى أصفار والعكس صحيح أيضاً،
3. تتم معالجة الإشارات الرقمية بسهولة وتكلفة منخفضة مقارنة بالإشارات التماثلية وذلك لأنها تستعمل معدات أقل تكلفة،

كل ذلك جعل التطبيقات متعددة لأنها أسهل وأقل تكلفة في ميدان الاتصالات كنظم الهاتف والشبكات التي تستعمل الكوابل المحورية والألياف الضوئية مثلاً.
كما يمكن الترقيم من استعمال طرق لايمكن استعمالها في التماثلي كالتجميع والتفكيك والعنونة واسترجاع الإشارات بدقة مثلاً وهي طرق ذات جدوى اقتصادية عالية.



الشكل 3 – 1: العناصر الأساسية في تضمين شفرة النبضات

السلبيات:

عرض نطاق كبير، ضوضاء التكمية.

3- 1- 2 طريقة الحصول على إشارة مضمنة بشفرة النبضات:

1. يتم قطع الترددات العالية من الإشارة التماثلية وذلك بإدخالها إلى مرشح النطاق الأساسي (Band pass filter) وبذلك تقطع من الإشارة الترددات العالية التي تزيد تردد القطع (cut frequency f_m)
2. يتم أخذ العينات بتردد f_S حيث $f_S \geq f_N$،
3. يتم تحويل الإشارة المضمنة بالسعة (PAM) إلى إشارة مضمنة بشفرة النبضات (PCM) بواسطة مشفر (Encoder) يحول كل عينة (Sample) إلى عدد ثنائي يسمى كلمة الشفرة (Code Word) لها طول محدد (عادة 8 بت).
4. أ – **التكمية**: هي عملية تحويل ارتفاع العينة إلى أقرب عدد لها (باستعمال مستويات مرقمة quantization levels) واختيار أقرب مستوى لارتفاع العينة،
5. يقسم النطاق الإجمالي للجهد (مثلا 0- 10 فولت) إلى مستويات (خطوات متساوية) كثيرة حيث تفصل بين المستويين المتتاليين مسافة ثابتة هي مسافة التكمية (quantization interval)،
   - عدد المستويات يكون قوة 2 أي 2^n حيث n هو عدد البتات في كلمة الشفرة،
   - فمثلاً لو كان n=8 فإن عدد المستويات يكون 256 (2^8) أي إن الأعداد الثنائية المستعملة هي 0 إلى 255.
6. ب – **التشفير**: يتم التشفير بإسناد عدد ثنائي لكل مستوى، بدءاً من 0 ووصولاً إلى أكبر رقم في الشفرة (255 مثلاً) ثم تمثيل كل عينة بواسطة عدد من هذه الأعداد الثنائية حسب ارتفاعها (سعتها) ويسمى العدد المسند للعينة كلمة الشفرة (Code Word)،

3- 1- 3 الأرقام الثنائية

لنفرض أن M هو عدد مستويات التكمية، وهو يمثل عدد كلمات الشفرة المستعملة، وليكن N عدد البتات في كلمة الشفرة، وهو ما يعني أن

$$M = 2^N \quad \text{.........(1 -3)}$$

1) إذا كان عدد المستويات M معروفاً فإنه يمكن حساب عدد البتات N كما يلي:

$$N = Log_2 M = 3.32\ Log_{10} M \quad \text{(2-3).......}$$

مثال 3 – 1:

في تضمين تشفير النبضات القياسي (normalized PCM) يكون M=256 مستوى فيكون عدد البتات

$$N = \log 256 = \log 2^8 = 8 \text{ bit}$$

مثال 3 – 2:

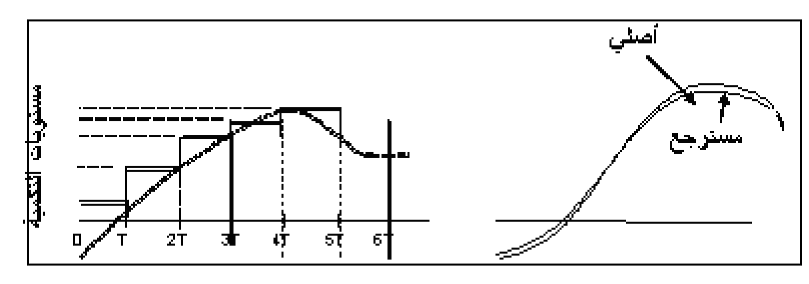
إذا حصلنا على عدد غير صحيح، نستعمل أقرب عدد صحيح أكبر من العدد الذي حسبناه.
ليكن 64.6 ليس عدداً صحيحا ، لذلك نختار العدد الصحيح الذي يليه مباشرة أي 7. وبذلك يكون طول كلمة الشفرة هو سبعة (N=7) وهو ما يعني أن لدينا $2^N = 2^7 = 128$ مستوى فعلياً عوضاً عن 100.

مسألة 3 – 1

احسب N علماً بأن N=100

مسألة 3 – 2

احسب خاصيات تكمية وتشفير إشارة تماثلية باستعمال 8 مستويات أي كلمة شفرة مكونة من 3 بت.



الشكل 3 - 2: أخذ العينات والتكمية

2) عند الاستقبال يتم استرجاع الإشارة التماثلية من العينات بواسطة محول رقمي تماثلي ثم مرشح إمرار منخفض (Low Pass Filter LPF).

3- 1- 4 عرض نطاق تضمين شفرة النبضات

1) إن عرض نطاق تضمين شفرة النبضات (PCM) أكبر بكثير من النطاق الأساسي للإشارة التماثلية (Analog signal) وأكبر كذلك من عرض نطاق الإشارة المضمنة بالسعة (PAM signal).

2) أقصى تردد في النطاق الأساسي هو f_m.

تردد بايكوست $f_N=2f_m$

أصغر تردد لأخذ العينات $f_s=f_N= 2f_m$

نسق البيانات $R_b = Nf_s = 2Nf_m$

عرض نطاق إرسال تضمين شفرة النبضات : $B_T = R_b = 2Nf_m$

مسألة 3- 3:
في مرور الإشارات الهاتفية القياسي يكون
fm=4 KHZ, n=8
احسب عرض نطاق الإرسال

3- 1- 5 ضوضاء التكمية

7. إحدى سلبيات تضمين شفرة النبضات هو تقهقر مضمون الإشارة حيث إن سعة العينة المسترجعة في خرج المحول الرقمي التماثلي (D/A converter) يمكن أن تحتوي على خطأ قد يصل إلى نصف مسافة التكمية (quantization interval)، كما يبين ذلك الشكل $3-2$

1) التحليل:

- لنفرض أن تكمين الإشارة يتم في النطاق V- إلى V+ فولت

أقصى فولتية هي V فولت

أقصى طاقة هي V^2 وات

- باستعمال N بت للعينة الواحدة تكون مسافة التكمية:

$$\Delta = \frac{2V}{2^N} volts \quad .... \quad (2-5)$$

- لذلك فإن أقصى خطأ ممكن في العينة المسترجعة هو

$$\text{volts} \quad \frac{\Delta}{2} = \frac{2v}{2n} / 2 = \frac{V}{2^n}$$

- طاقة الضجيج القصوى هي

$$(6 \quad - 3) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad N_Q = V^2/2^{2N} \quad \text{watts}$$

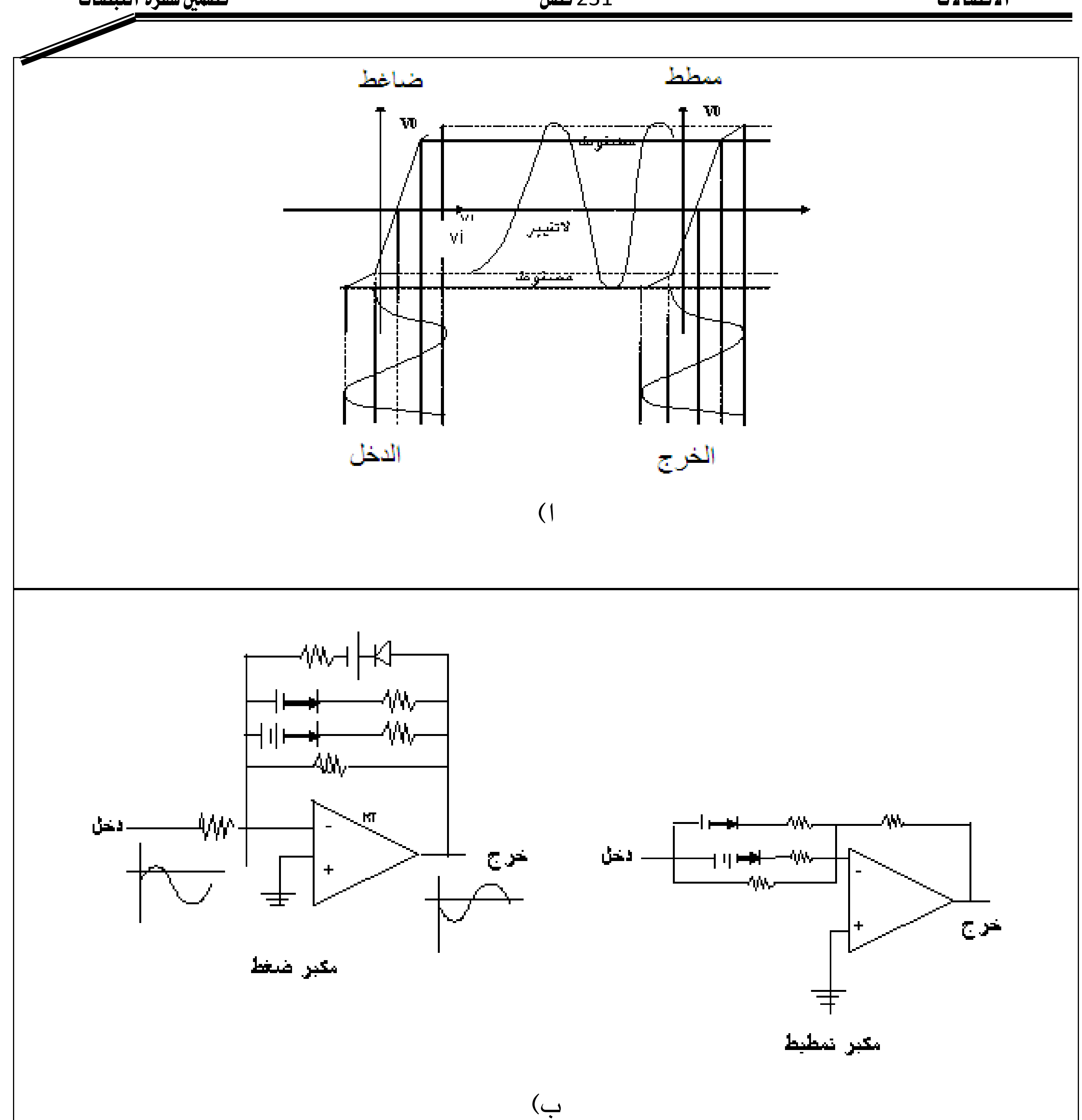
- نسبة الإشارة / الضجيج هي

$$\therefore \left(S/N\right)_Q = \frac{SQ}{NQ} = V^2 \div \left(\frac{V^2}{2^{2N}}\right) = 2^{2N}$$

$$(7 \quad - 3) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \therefore \left(S/N\right)_Q = 2^{2N}$$

يتم تشويه الإشارة التماثلية بطريقة محكمة قبل تكميتها حيث تضغط قيمها الكبيرة عند الإرسال ثم تمطط هذه القيم عند الاستقبال. ينتج عن ذلك وجود مستويات كثيرة متقاربة بالنسبة للإشارات الصغرى و مستويات قليلة بالنسبة للإشارات الكبرى

يتم الضغط بواسطة مكبر لا خطّي (Non linear amplifier) له منحنى (characteristic) معروف بينما يتم التمطيط بواسطة مكبر لا خطّي له منحنى معاكس عند الاستقبال.
بعبارة أخرى: يتم الضغط عند الإرسال والتمطيط عند الاستقبال للتقليل من ضجيج التكمية.
يبين الشكل 3 – 3 عمليتي الضغط والتمطيط.



الشكل 3- 3 الضاغط والممطط: ا) منحنيات الضغط والتمطيط

ب) الدوائر الكهربائية المستعملة للضغط والتمطيط

تمر إشارة الدخل عبر الضاغط (compressor) ذي المنحنى اللاخطي فيتم تغييرها كما نري في خرج الضاغط. إذا أدخلت الإشارة المضغوطة إلى الممطط (expander) في (الاستقبال) تستعيد شكلها

الأصلي. ويقوم عادة جهاز واحد بالعمليتين يسمى الضاغط/ لمطط (compander) اختصاراً لكلمتي (COMpressor/exPANDER).

3- 1- 6 طرق مستعملة للتقليل من ضجيج التكمية

1) لتقليل ضجيج التكمية يمكن زيادة طول كلمة الشفرة (عدد البت لكل عينة) لكن ذلك يزيد في كمية البت المرسلة وينقص من عدد القنوات التي يتم بثها،
2) باستعمال طريقة الضغط السالف ذكرها نقلل من ضجيج التكمية دون زيادة في كمية البت المرسلة
3) استعمال مسافة تكمية غير ثابتة حيث ستعمل
   - للمستويات المنخفضة مسافات صغيرة
   - وللمستويات المرتفعة مسافات كبيرة.

مسألة 3- 4:

لنأخذ إشارة صوتية. احسب

(ا) معدل طاقة الإشارة

(ب) قيمة مسافة التكمين باستعمال 10 بت للكلمة

(ت) طاقة ضجيج التكمية

(ث) نسبة الإشارة / الضجيج

- باستعمال PS/QN
- باستعمال $SNR= 2^{2N}$ و N=10 bit

(ج) عدد بت كلمة الشفرة عندما تكون النسبة المذكورة تساوي 40dB

3- 1- 7 قوانين الضغط والتمطيط

1) منحنى الضغط المستعمل في تضمين شفرة النبضات محدد بالمعادلة التالية :

$$(3\text{-}8)\ldots\ldots\ldots V_0 = V_{0\max}\frac{\ln\left(1+\mu\frac{Vi}{Vi_{\max}}\right)}{\ln(1+\mu)} \qquad \text{for } Vi \geq 0$$

حيث

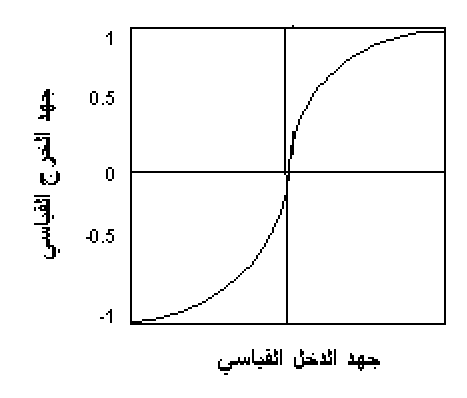
Vi هي فولتية الدخل

V0 هي فولتية الخرج

Vi_{max} هي فولتية الدخل القصوى

$V0_{max}$ هي فولتية الخرج القصوى

μ هو وسيط الضغط (compression parameter) (255)



الشكل 3 – 4: جهد الدخل وجهد الخرج القياسيان

2) منحنى الضغط في الإرسال له شكل لاخطي بالنسبة للفولتيات الموجبة و لاخطي معاكس لذلك بالنسبة للفولتيات السالبة

3) يستعمل في الاستقبال منحنى تمطيط وهو لا خطي معاكس لمنحنى الضغط حسب القانون التالي:

$$(3\text{-}9)\ \ldots\ldots\ldots\ldots V_{ie} = \frac{V_{i\max}}{\mu}\left[(1+\mu)^{\left[\frac{V_r}{V_{0\max}}\right]}\right] for V_r \geq 0$$

حيث

Vie هي إشارة ممططة مستخلصة من الإشارة المستقبلة بعد فك الشفرة

4) تتمم عمليتا الضغط والتمطيط بواسطة نظام يعرف باسم كوداك (اختصار لكلمتي كودر / ديكودر codec: coder/decoder).

'كوداك – ا' هو معروف باسم A law (Europe) codec وخاصياته هي :

$$V_0 = V_{0\max}\left(\frac{1+\lg Ax}{1+\lg A}\right) sign \qquad 1/A < X < 1 \ldots\ldots(3\text{-}10)$$

$$V_{0\max}\left(\frac{Ax}{1+\lg A}\right) \qquad 0 < X < 1/A \ldots\ldots(3\text{-}11)$$

A = 87.6

المسألة 3 - 5 :
لنفرض ضاغطاً بقانون له الخاصيات المولية
$V_{imax} = 8V$, $V_{0max} = 5V$, $\mu = 255$
حدد فولتية الخرج بالنسبة لفولتيات الدخل 2v و 4v و 8v

3- 1- 8 التوفيق بين المضمون وعرض النطاق

1) الخطأ في تضمين شفرة النبضات تناسبي لعدد المستويات M
2) نسبة الإشارة / الضجيج ترتفع كلما زاد M
3) عرض النطاق يكبر كلوغارثم M

مثلاً عندما نتحول من 8 بت إلى 9 بت

- يرتفع عرض النطاق بنسبة 5.12٪
- ينخفض ضجيج التكمية بنسبة 50٪

وهكذا تكون نسبة تحسين الإشارة أكبر من نسبة تكبير النطاق.

3 – 2 أساسيات تشفير تضمين شفرة النبضات و التكمية

بما أن مستويات الفولتية في الدخل تختلف من إشارة إلى أخرى وكذلك الحال بالنسبة لعدد مستويات التكمية الذي هو رهين طول كلمة الشفرة المستعملة بالبت، فإنه من المفضل أن نقوم باستعمال أرقام قياسية (normalized values) في الدخل والخرج حيث تصبح السعة القصوى لكليهما تساوي 1.

نستعمل لهذا الغرض المعادلات التالية:

$$\text{normalizes I/P analog voltage} = \frac{\text{actual I/P analog voltage}}{\text{full - scale voltage of A/D converter}}$$

$$X(t) = \frac{Vi}{V_{fs}}, \text{ where } V_{fs} = 2.5, 5, 10, 20 ....$$

بالنسبة للمحول التماثلي / الرقمي، و

$$\begin{bmatrix}\text{actual out put}\\ \text{analog voltage}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{normalized value}\\ \text{of digital word}\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}\text{full scale voltage}\\ \text{of D/A converter}\end{bmatrix}$$

$$V_o = X(t) \times V_{fs}$$

بالنسبة للمحول الرقمي / التماثلي.

من حيث عدد الأقطاب يوجد صنفان من التشفير بالنسبة للتحويل التماثلي / الرقمي وهما:

التشفير أحادي القطب (unipolar encoding) وهو يستعمل أعداداً حقيقية موجبة تمتد من 0.0 إلى 0.1

التشفير ثنائي القطب(bipolar encoding) وهو يستعمل أعداداً حقيقية موجبة وسالبة تمتد من -0.1 إلى 0.1 + .

يعطي الجدول التالي مثالاً على هذا التشفير بالنسبة لإشارة ممثلة بكلمة شفرة طولها 4 بت أي قيم ما بين 0 و 16.

أعداد ثنائية طبيعية	قيم عشرية	قيم عشرية قياسية أحادية القطب	قيم عشرية قياسية ثنائية القطب
1111	15	15/16=0.9375	7/8=0.875
1110	14	14/16=0.875	6/8=0.75
1101	13	13/16=0.8125	5/8=0.625
1100	12	12/16=0.75	4/8=0.5
1011	11	11/16=0.6875	3/8=0.375
1010	10	10/16=0.625	2/8=0.25
1001	9	9/16=0.5625	1/8=0.125
1000	8	8/16=0.5	0
0111	7	7/16=0.4375	-1/8=-0.125
0110	6	6/16=0.375	-2/8=-0.25
0101	5	5/16=0.3125	-3/8=-0.375
0100	4	4/16=0.25	-4/8=-0.5
0011	3	3/16=0.1875	-5/8=-0.625
0010	2	2/16=0.125	-6/8=-0.75
0001	1	1/16=0.0625	-7/8=-0.875
0000	0	0	-8/8=-1

الجدول 3- 1 : مثال للتشفير الأحادي القطب والتشفير االثنائي القطب في حال استعمال كلمة شفرة طولها 4 بت.

3 – 2 – 1 التشفير الأحادي القطب

1) هو صالح للإشارات الموجبة (في حالة الإشارة السالبة يؤخذ عكسها)

مجال الإشارة القياسية هو $\therefore$ the range of the normalized signal $X(t)$ is $0 \le X < 1$

حيث تبقى القيمة دائماً أقل من 1

2) في حالة كلمة شفرة طولها 4 بت أي $16 = N = 2^4$ ∴ نرى في العمود الثالث من الجدول 3-1 تشفيراً أحادي القطب للإشارة ويستعمل كما نرى أعداداً عشرية حقيقية تتراوح دائماً بين 0.0 و 0.1 (لاتصل أبداً للقيمة القصوى 0.1) وتفسير ذلك في الجدول التالي:

القيمة القياسية (X_n)	العدد العشري المكمم	العدد الثنائي	ملحوظة
$0/16 = 0$	$0\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+0\times2^0$	0000	القيمة القصوى 1111 لا تصل إلى القيمة 0.1 عند التشفير
$\frac{8}{16}=0.5$	$1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+0\times2^0=8$	1000 LSB....MSB	
$\frac{15}{16}=0.9375$	$1\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0=15$	1111	

3) خطوة التكمية القياسية هي :

$$\Delta Xu = \frac{1}{2N} \quad ....(13\ -3)$$

4) أما خطوة التكمية الحقيقية فهي

$$\Delta Vu = \Delta \times u \quad ....(14\text{–}3) \qquad V_{fs} = \frac{V_{fs}}{2N}$$

حيث تميل Vfs فولتية سلم الفولتية بأكمله :

5) أكبر قيمة مكممة تنقص عن 1 بقيمة خطوة تكمية واحدة:

$$Xu\,(\max) = 1 - \Delta \times u = 1 - \frac{1}{2N} \quad ....(15\ -3)$$

لاحظ:

- لا نصل أبداً للقيمة 0.1
- توزيع مستويات التكمية ليس متناظراً بالنسبة للنقطة المركزية

- النقطة المركزية تمثل العدد الثنائي حيث MSB=0 وراءه أصفار فقط (مثلا 1000 في حالة كلمة شفرة طولها 4 بت)

6) منحنى التكمية

أ) نرى منحنى التكمية في الشكل 3- 5 أسفله

ب) يمثل السلم الأفقي قيم الدخل وهي قيم قياسية للإشارة التماثلية في دخل المحول التماثلي الرقمي

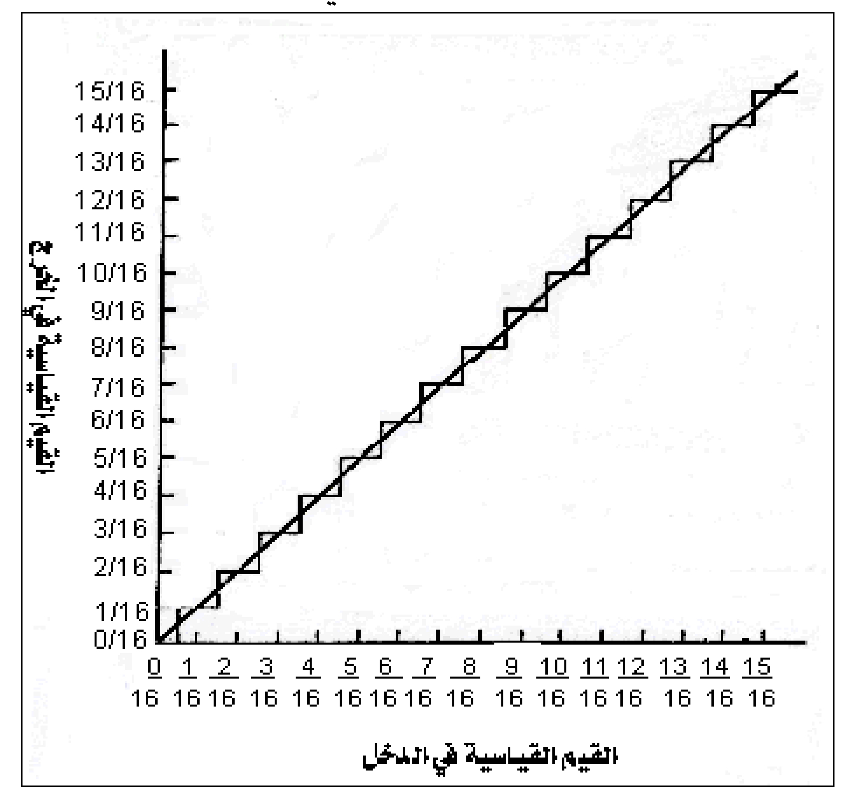
يمثل السلم العمودي قيم الخرج وهي قيم قياسية للإشارة المكممة في خرج المحول التماثلي الرقمي

ت) وهكذا يتم تمثيل كل قيمة من قيم الإشارة التماثلية بعدد عشري باستعمال إحدى الطريقتين التاليتين

ت- ا) تمثل قيمة العينة بواسطة أقرب مستوى من مستويات التكمية (مثلاً نمثل 1.67/16 بواسطة 2/16 بينما نمثل 1.47/16 بواسطة 1/16)

ت- ب) تمثل قيمة العينة بواسطة أقرب مستوى أصغر منها (مثلاً نمثل 1.67/16 بواسطة 1/16)

يعطي الشكل 3- 5 منحنى التكمية في حالة تشفير أحادي القطبية وباستعمال 4 بت للعينة



الشكل 3 - 5: التكمية الأحاديةالقطبية باستعمال 4 بت

7) خطأ التكمية

عند إعطاء العينة أقرب قيمة لها ()

ا – أقصى خطأ تكمية يساوي نصف مسافة التكمية

$$\therefore \mathrm{Eu} = \frac{\Delta \times \mathrm{u}}{2} = \frac{1}{2^{N} \times 2} = \frac{1}{2^{N+1}} = 2^{-(N+1)} \quad \text{.........(3- 16)}$$

Where : Eu = the peak unipolar normalized error.

ب- الخطأ الفعلي الأحادي القطبية يساوي

$$\ell u = Eu \ \mathrm{V_{fs}} = \frac{V_{fs}}{2^{n+1}} = 2^{-(n+1)} . \mathrm{V_{fs}} \quad \text{.................(3- 17)}$$

مسألة 3- 6:

لنفرض أن لدينا محولا تماثلياً / رقمياً ب6 بت حيث تشفر فولتية الخرج بواسطة نظام تضمين شفرة النبضات وحيث فولتية الدخل لها قيم تمتد من 0 إلى 20 فولت المشفر مرتبط بتشفير أحادي القطب. احسب

(ا) حجم الخطوة القياسي $\Delta \times u$

(ب) حجم الخطوة الفعلي ΔVu

(ت) أقصى مستوى قياسياً مكمماً **Xu(max)**

(ث) أقصى مستوى فعلياً مكمماً **Vu(max)**

(ج) أقصى خطأ تكمية قياسي **Eu**

(ح) أقصى خطأ تكمية قياسي ℓu

2 – 2 – 2 التشفير الثنائي القطب

1) هو مناسب عندما تكون الإشارة التماثلية ثنائية القطب

2) المجال القياسي للإشارة هو 1- إلى **1+** أي إن $-1 \le X < 1$

3) في حال كلمة شفرة طولها 4 بت، تكون لدينا 2^4 أي 16 قيمة كما نراها في الجدول 1-3 .

القيمة الثنائية	القيمة العشرية القياسية (Xb)	ملحوظات
0000	$\frac{-8}{8}=-1$	Xb قيمة عشرية قياسية ذات قطبين.
. . .	. . .	. . .
1000	0	
. . .	. . .	. . .
1111	$\frac{7}{8}=0.875$	

الجدول 3- 1 : القيم الفعلية والقيم القياسية للإشارة عند استعمال كلمة شفرة ذات 4 بت

4) حجم الخطوة القياسي (ΔX_b) (يساوي دائماً 1 LSB) هو

$$\Delta X_b = \frac{1}{2^{n-1}} = 2^{-n+1} \qquad (17\ \ \text{-}3)$$

5) حجم الخطوة الحقيقى ΔV_b هو

$$\Delta V_b = \Delta X_b\, V_{fs} = \frac{V_{fs}}{2^{N-1}} = 2^{-N+1} V_{fs} \qquad (18\ \ \text{-}3)$$

6) القيمة القياسية الثنائية القطبية القصوى هي ضعف القيمة القياسية الأحادية القطبية القصوى لأنها القيمة القياسية من قمة إلى قمة

$$X_b(\max) = 1 - \Delta X_b = 1 - 2^{-N+1} \qquad (19\ \ \text{-}3)$$

ملحوظات: (انظر الجدول 3- 1)

- هناك 8 قيم قياسية سالبة

$$\frac{M}{2} = 2^{N-1} \qquad (20\ \text{-}3)$$

- هناك 8 قيم قياسية موجبة

$$\frac{M}{2} - 1 = 2^{N-1} - 1 \qquad (21\ \text{-}3)$$

القيمة الثنائية 1000 تمثل الرقم القياسي 0 وهي في نفس الوقت MSB

يمكن الحصول على القيمة التكميلية ل2 () بتعويض البت الأكثر MSB وزناً بتكملته المنطقية

$$complement\ \ aries \begin{bmatrix} 1 \quad 010 \rightarrow 2/8 \\ \underset{MSB}{0} \ 010 \rightarrow -6/8 \end{bmatrix} \Big\} 8/8 \qquad \begin{matrix} 0001 \rightarrow -7/8 \\ 1001 \rightarrow 1/8 \end{matrix} \Big\} 8/8 \qquad (22\ \text{-}3)$$

7) يعطي الشكل 3- 6 منحنى التشفير الثنائي القطب

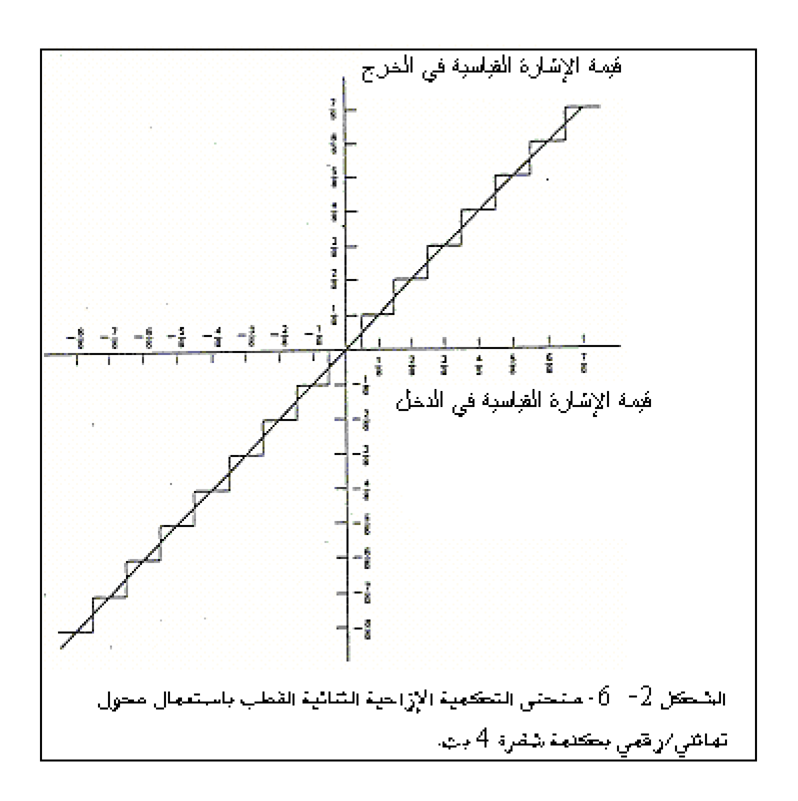
8) أخطاء التكمية

- الخطأ النسبي الأقصى الثنائي القطب ΔE_b هو

$$\Delta E_b = \frac{\Delta X_b}{2} = 2^{-N} \qquad 23\ \text{-}3$$

- الخطأ النسبي الحقيقي الثنائي القطب هو

$$\ell_b = E_b\ V_{fs} = 2^{-N} V_{fs} \qquad 24\ \text{-}3$$



الشكل 2- 6- منحنى التحكمية الإزاحية الثنائية القطب باستعمال محول تماثلي/رقمي بكلمة شفرة 4 بت.

3 – 3 التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات PCM/TDM

التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات: إشارات من مصادر مختلفة للمعلومات (قنوات) يقع أخذ عيناتها ثم تشفيرها ثم تجميعها في إطارات بهدف نقلها. يشمل كل إطار عينة (كلمة شفرة) من كل إشارة.

3- 3- 1 الحد الأدنى لعرض النطاق

1) إرسال مجموعة من العينات في دورة واحدة يعني عرض نطاق أكبر بكثير من عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين سعة النبضات (PAM/TDM).

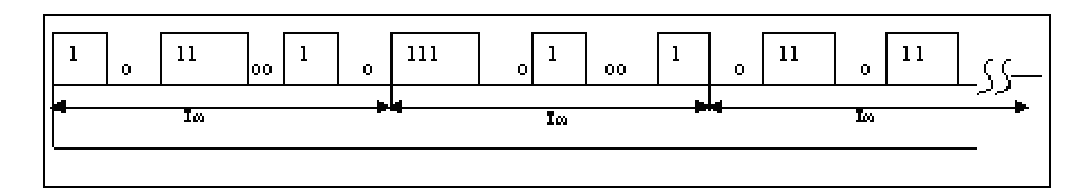
2)البرهان: لنفرض أن علينا تجميع K إشارة حيث إن

- كل واحدة منها لها عرض نطاق يساوي f_N. وأن
- $F_S = f_n = 2\ f_m$
- وأنه لا توجد فراغات ولا إشارات تزامن
- النبضة الثنائية البت تحتل كامل دورة البت (هناك أصناف من هذا التشفير لا تحتل فيها النبضة كامل الدورة)

3) بالرجوع إلى الشكل 3- 9 أسفله نلاحظ وجود ثلاث فترات زمنية لها أهمية وهي

- مدة الإطار (frame time)

$$T_f = T_N = \frac{1}{2\,f_m} \qquad (21 - 3)$$



الشكل 3- 9: الفترات الزمنية

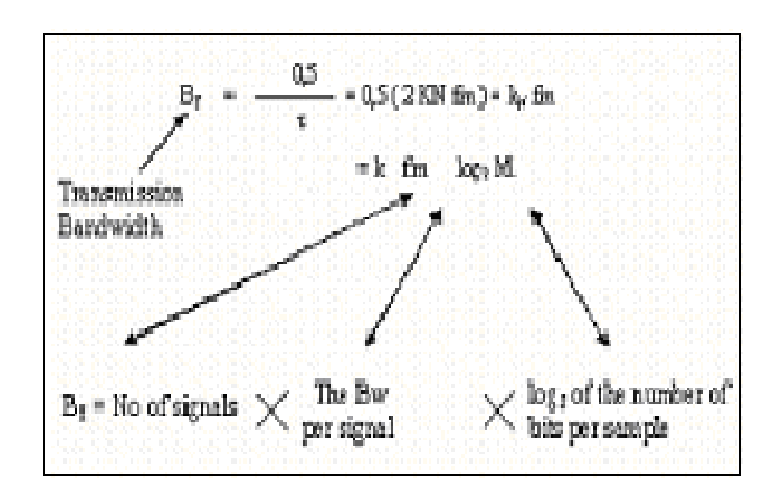
- مدة الكلمة (word time)

$$T\omega = \frac{T_f}{K} = \frac{1}{2K\,f_m} \qquad (21 - 3)$$

- مدة البت (bit duration)

$$\tau = \frac{T\omega}{\ } = \frac{1}{\ } \qquad (22 - 3)$$

4) أدنى عرض نطاق بالنسبة للتجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات هو:



لاحظ: عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين شفرة النبضات يساوي أضعاف عرض نطاق التجميع بالتقسيم الزمني في تضمين سعة النبضات.

3- 3- 2 مصطلحات التجميع بالتقسيم الزمني

هناك نظامان للتجميع بالتقسيم الزمني، الأول مستعمل في أمريكا الشمالية وبعض الدول الأخرى و يسمى نظام 24 قناة (US – 24 Channel System) والثاني مستعمل في بقية دول العالم و يسمى نظام 32 قناة (32 channel System).

3- 3- 2- 1 نظام **24** قناة (أمريكا الشمالية) : (US – 24 Channel System)

1) يتكون الإطار هنا من 24 كلمة شفرة (Code Words).تحتل كل كلمة حيزاً زمنياً في الإطار وطول الحيز الزمني ثابت يضاف إلى ذلك بت واحد في البداية يسمى بت التزامن

- ترقم الحيزات من 1 إلى 24.
- توجد في أول الإطار (حيز رقم 0) بتة التزامن بينما تأخذ الكلمات المتبقية (حيز 1 إلى حيز 24) من القنوات بمعدل كلمة من كل قناة.

<table dir="rtl">
<tr><td colspan="17">رقم القناة</td></tr>
<tr><td>24</td><td>23</td><td>22</td><td>21</td><td>20</td><td>.........</td><td>13</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
<tr><td colspan="19">24 كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلاً) طول كل كلمة 8 بت</td><td></td><td>بتة تزامن (1 بت)</td></tr>
<tr><td colspan="21">طول الإطار بالبت هو: 24 x 8 بت = 192 بت + 1 بت تزامن = 193 بت</td></tr>
</table>

- أي إن عدد القنوات الحقيقية المنقولة هو 24 أما القناة رقم 0 فهي للتزامن فقط.
- مدة الإطار هي $\frac{1}{8000}$ أي 125µs
- يتم تزامن الإطار ويحافظ على هذا التزامن بفضل مجموعة بت تنقل في الحيزات الأولى رقم 0. تسمى هذه المجموعة كلمة اصطفاف الإطار (Frame Alignment Word: FAW).

- في نظام عدم الرجوع إلى الصفر و إطار يحتوي على 24 قناة، يكون طول كلمة اصطفاف الإطار 12 بت توزع على الكلمة المستعملة وهي المعروفة باسم TI FAW وهي
100011011100
- تكوّن 12 إطار متتالية (كما سبق أعلاه) إطاراً أكبر (Superframe)

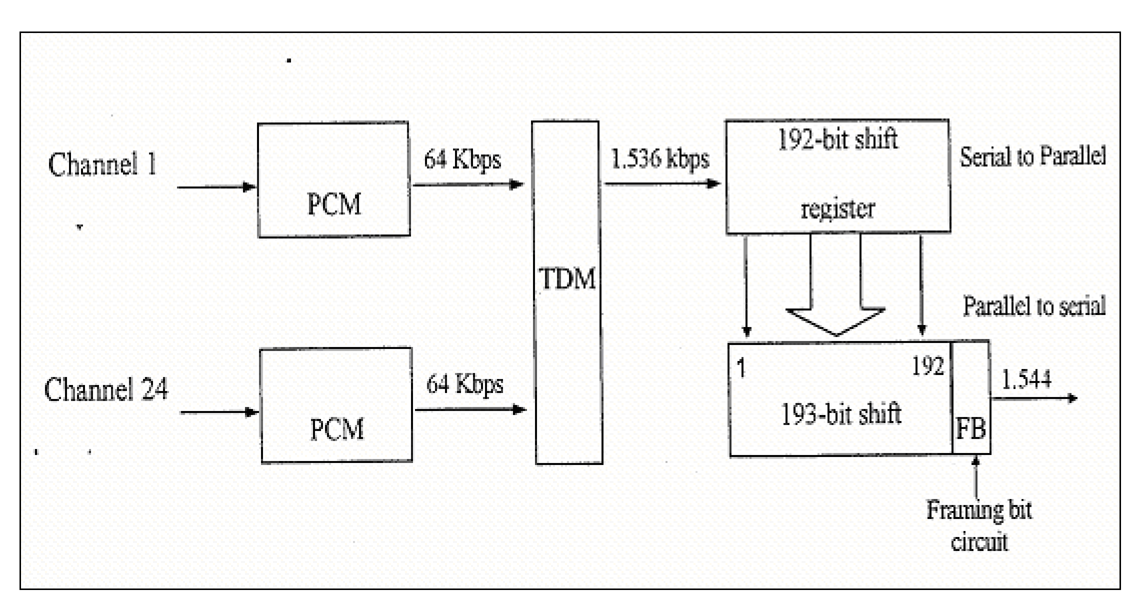
تشغيل نظام التجميع 24 قناة:

1. يأخذ المجمع تي آي (TI Multiplexer) إشارات صوتية من 24 قناة هاتفية مشفرة بنظام PCM وبمعدل كلمة واحدة (8 بت) من كل قناة وفي كل الدورة (125µs)
2. تدخل الكلمات إلى ذاكرة المجمع الخاصة بذلك في انتظار قراءتها وتجميعها
3. تجمع الكلمات في خرج المجمع في إطار وترسل على القناة . الإطار مركب كما سبق أن وصفناه، أي: بت من كلمة الاصطفاف ثم 8 بت من القناة الأولى ثم 8 بت من القناة الثانية ثم 8 بت من القناة الثالثة، وهكذا دواليك إلى حدود القناة 24.
4. يتم إرسال الإطار ثم تقرأ الكلمات الموالية من القنوات الأربع والعشرين في الذاكرة ويكون الإطار الموالي بنفس الطريقة ثم يرسل بدوره وهكذا....
5. إذا أرسلنا 12 إطاراً متتالية نكون قد أرسلنا إطاراً أكبر وأتممنا إرسال كلمة التزامن TI FAW .

بناء نظام التجميع 24 قناة:

يبني نظام التجميع 24 قناة كما نرى في الشكل أسفله. يجمع المجمع الأربع وعشرين قناة كما سبق أن شرحنا فنحصل على إطار مكون من 192 بت. ثم يضاف بواسطة سجل إزاحة () البت الخاص بالتزامن فيصبح لدينا إطار مكون من 193 بت. نظراً إلى أن تردد إرسال الأطر هو 8000 إطار في الثانية، نحصل على

8000 **x** 193 بت في الثانية 1544000 بت في الثانية.



الشكل 2- 10: نظام تجميع 24 قناة

حساب معدل تدفق البيانات عرض نطاق نظام التجميع 32 قناة:

(معدل تدفق البيانات = عرض النطاق Bandwidth = Bit rate)

- تردد أخذ العينات هو ثابت f_S=8kHz وكذلك مدة الإطار 125μs
- عدد البت في الإطار الواحد 1 + 24 × 8 = 193 بت
- مدة البت الواحد هي :

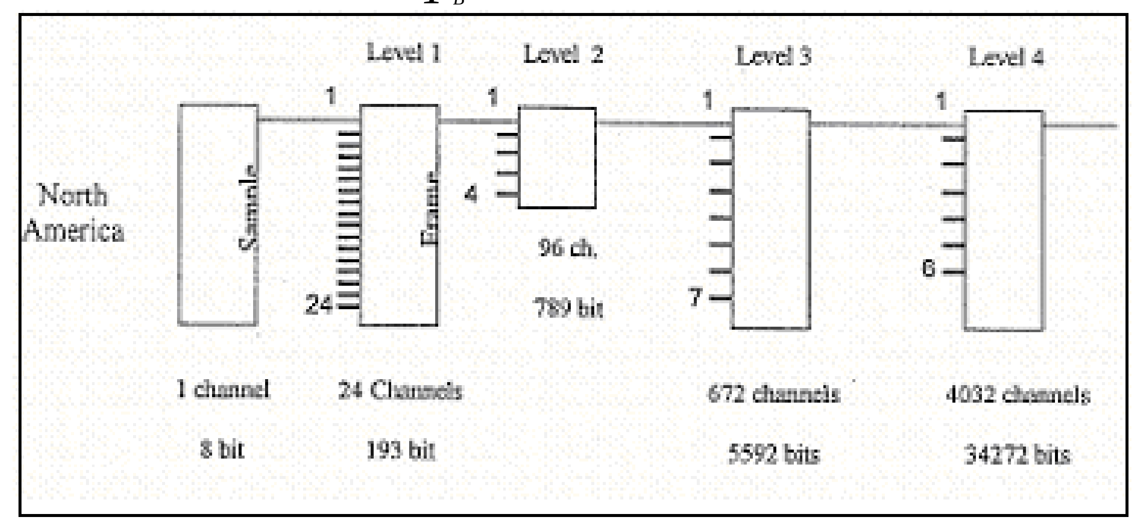
$$T_b = \frac{125\mu s}{193} \approx 0.647668\mu s$$

- معدل تدفق البيانات هو :

$$Rb = \frac{1}{Tb} = \frac{193}{125\mu s} = 1.544 \quad Mbit/s$$

- أي إنه يتم نقل 544.1 مليون بت في الثانية الواحدة وعرض النطاق هو :

$$B_T = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{0.64766} = 1.544\,MHz$$



الشكل 3- 11 : بنية الإطار الأساسي والأطر الكبيرة في نظام النقل 24 قناة

3- 3- 2- **2** نظام **32** قناة (أوروبا وبقية الدول الأخرى) : (32 Channel System)

1) يتكون الإطار هنا من 32 كلمة شفرة (Code Words) تحتل كل كلمة حيزاً زمنياً في الإطار وطول الحيز الزمني ثابت.

- ترقم الحيزات من 0 إلى 31.
- توجد في الحيزين الأول (رقم 0) والسابع عشر (رقم 16) كلمتا التزامن والتحكم بينما تأخذ الكلمات المتبقية (حيز رقم 1 إلى حيز 15 ثم حيز رقم 17 إلى حيز 31) من القنوات بمعدل كلمة من كل قناة.

رقم القناة														
31	30	29	....	17	16	15	14	13	....	4	3	2	1	1	0
15 كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلاً) طول كل كلمة 8 بت					كلمة تزامن	15 كلمة شفرة من القنوات المنقولة (مكالمات هاتفية مثلاً) طول كل كلمة 8 بت								كلمة تزامن
طول الإطار بالبت هو: 24 x 8 بت = 192 بت + 1 بت تزامن = 193 بت														

- أي أن عدد القنوات الحقيقية المنقولة هو 30 أما القناتان رقم 0 و 16 فهي للتزامن فقط.
- مدة الإطار هي $\frac{1}{8000}$ أي 125µs

- يتم تزامن الإطار ويحافظ على هذا التزامن بفضل كلمتي التزامن والتحكم (Synchronization and signaling) المنقولتين على القنوات رقم 0 ورقم 16.

تشغيل نظام التجميع 32 قناة:

1. يأخذ المجمع تي آي إشارات صوتية من 30 قناة هاتفية مشفرة بنظام وبمعدل PCM كلمة واحدة (8 بت) من كل قناة وفي كل الدورة (125µs)
2. تدخل الكلمات إلى ذاكرة المجمع الخاصة بذلك في انتظار قراءتها وتجميعها
3. تجمع الكلمات في خرج المجمع في إطار وترسل على القناة . الإطار مركب كما سبق أن وصفناه، أي: كلمة تزامن في الحيز الأول ثم 8 بت من القناة الأولى ثم 8 بت من القناة الثانية ثم 8 بت من القناة الثالثة، وهكذا دواليك إلى حدود القناة 15 أي الحيز السادس عشر. وهكذا نكون قد أتممنا الجزء الأول من الإطار. ثم تكون مجموعة مماثلة في الجزء الثاني من الإطار أي كلمة تزامن في الحيز السابع عشر ثم 8 بت من القناة 16 ثم 8 بت من القناة 17 ثم 8 بت من القناة 18، وهكذا دواليك إلى حدود القناة 31 أي الحيز 32.
4. يتم إرسال الإطار ثم تقرأ الكلمات الموالية من القنوات الثلاث في الذاكرة ويكون الإطار الموالي بنفس الطريقة ثم يرسل بدوره وهكذا....

حساب معدل تدفق البيانات عرض نطاق نظام التجميع 24 قناة:

(معدل تدفق البيانات = عرض النطاق Bandwidth = Bit rate)

- تردد أخذ العينات هو ثابت f_S=8kHz وكذلك مدة الإطار 125µs
- عدد البت في الإطار الواحد 32 × 8 = 256 بت
- مدة البت الواحد هي :

$$T_b = \frac{125\mu s}{256} \approx 0.488\mu s$$

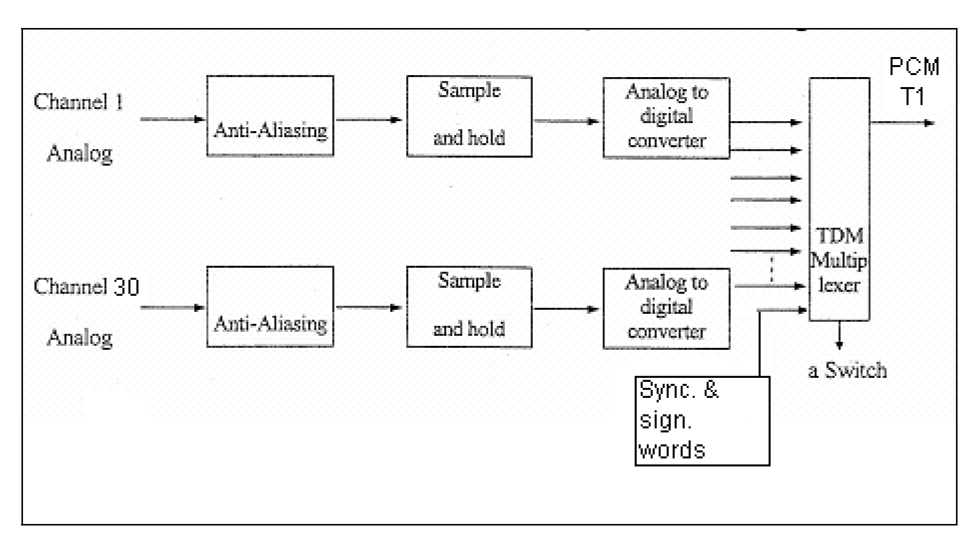
- معدل تدفق البيانات هو :

$$Rb = \frac{1}{Tb} = \frac{256}{125\mu s} = 2 \quad Mbit/s$$

- أي إنه يتم نقل 544.1 مليون بت في الثانية الواحدة وعرض النطاق هو

$$B_T = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{0.488} = 2\,MHz$$

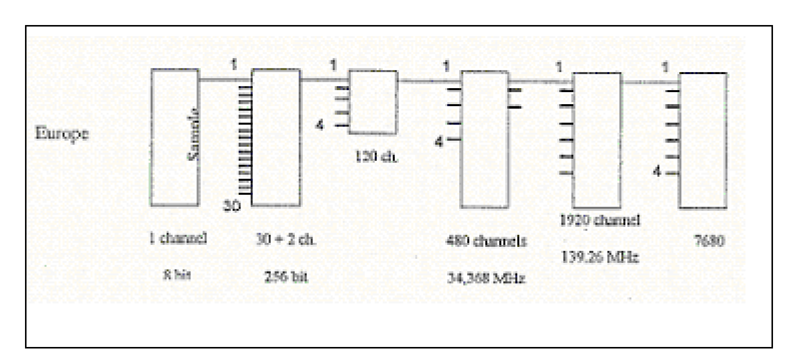
بناء نظام التجميع **32** قناة و عرض نطاقه:



الشكل 3- 12: نظام النقل 32 قناة المعتمد في أوروبا وبقية بلدان العالم

بنية الإطار الأساسي والإطارات الأكبر بالنسبة لنظام النقل 32

ويظهر الشكل 3- 13 بنية نظام النقل 32/30 قناة الخاصة في الإطار الأساسي والأطر الكبيرة.



الشكل 3- 13: بنية الإطار الأساسي والأطر الكبيرة في نظام النقل 32 قناة

أساسيات الاتصالات الرقمية

التراسل الرقمي

التراسل الرقمي

٤

الوحدة الرابعة : التراسل الرقمي
Digital Transmission

الجدارة: التعرف على طرق التراسل الرقمي.عناصر نظام النقل الرقمي ونعطي خاصياته وهي معدل الإرسال وترميز القناة وفك ترميز القناة ونظام فصل البيانات. سنستعرض في الوحدة أيضا طرق تشفير النبضات المختلفة بهدف نقل الإشارة الرقمية بطرق ذات جدوى وصلابة عند حدوث ضجيج خلال النقل.

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪ بإذن الله .

الوقت المتوقع: 9 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودرس الوحدة الأولى من هذه الحقيبة.

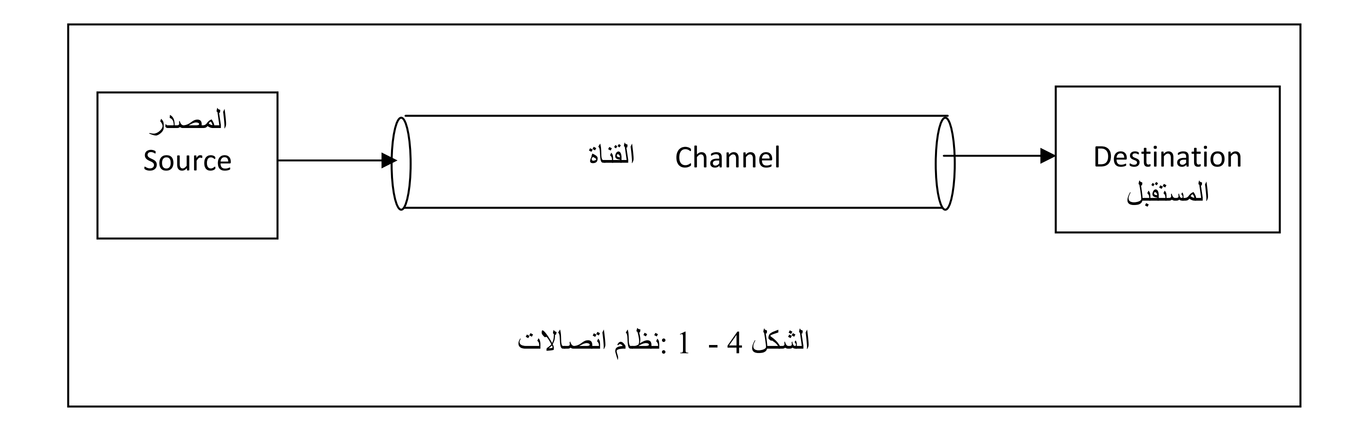
التراسل الرقمي
Digital Transmission

4- 1 نظام الاتصال الرقمي

4- 1- 1 : عناصر نظام الاتصال الرقمي

يتمثل الإرسال الرقمي في إرسال بيانات رقمية (مجموعة بتات ، Data) من مصدر واحد أو مصادر متعددة إلى مستقبل واحد أو عدد من المستقبلين.

يتم الإرسال من المصدر (source) إلى المستقبل (destination) عبر القناة (channel)، كما نري ذلك في الشكل التالي.



الشكل 4 - 1 :نظام اتصالات

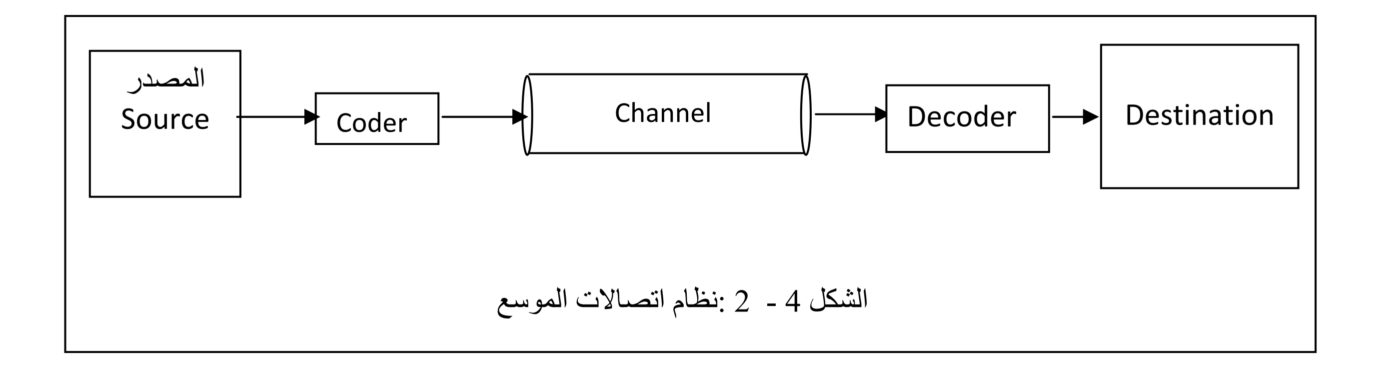
وتجدر الإشارة إلى أن الإرسال قد يكون متزامناً أو غير متزامن كما سنرى لاحقاً، وهو ما سنعالجه في الوحدة الخاصة بتشفير المصدر.

وعادة من الممكن أن تضاف وحدات إلى بعض أو كل من المصدر والقناة والمستقبل. ففي حال كانت المعلومات () المتوفرة في المصدر تماثلية، يتم أولاً تحويلها إلى بيانات () بواسطة التحويل التماثلي الرقمي كما رأينا سابقاً في هذا المقرر. كما أن أنواعاً من العمليات المختلفة قد تجرى عند المصدر بغية معالجة

البيانات بشكل أو بآخر. والعمليات التي تهمنا هنا هي تشفير المصدر وتشفير القناة. أما تشفير المصدر فسوف نتحدث عنه في الوحدة الخاصة بذلك، وأما تشفير القناة فسيكون موضوع الفقرات الآتية.

يمكن أن تتعرض البيانات في القناة إلى الضوضاء (noise)، وهو ما نحاول مقاومته أولاً باختيار التشفير المناسب للبيانات (تشفير القناة channel coding)، ثم إصلاحه عند المستقبل حيث يتم فك الشفرة (decoding) واكتشاف الأخطاء (error detection) ثم تصحيحها (error correction).
وسنعرض الطرق المذكورة في الفقرات الموالية.

إذا أخذنا كل العناصر المذكورة آنفا بعين الاعتبار نحصل على النظام الذي نراه في الشكل 4 – 2.



الشكل 4 - 2 :نظام اتصالات الموسع

4- 1- 2 : معدل الإرسال:
يعتبر معدل الإرسال من أهم مميزات نظام الاتصالات، ذلك أنه يحدد سرعة نقل البيانات وبذلك يتم جدوى هذا النقل. ويعرف معدل الإرسال كما يلي:
معدل الإرسال هو كمية البيانات المرسلة خلال الوحدة الزمنية (الثانية) ووحدة قياسه هي البت في الثانية (**bit per second: bps**) أو البود.
هذا ولمعدل الإرسال صلة وثيقة بقدرة القناة المستعملة وعرض نطاقها وكذلك طرق التضمين المستعملة، كما نبين ذلك في المكان المناسب من هذا الكتاب.

4- 1 - 3 أساسيات التشفير في نظم الاتصالات :

4- 1 - 3 - 1 **معنى التشفير في النظم الرقمية :** هو مجموعة من القواعد المضبوطة التي تحدد كيفية تمثيل المعلومات 4- 1 - 3 بواسطة أرقام . وترمي العملية إلى أهداف عدة قد يرغب المستعمل في تحقيقها كلها أو جلها أو البعض منها فقط و من هذه الأهداف :

- تمثيل المعلومة بأقل كمية ممكنة من البيانات الرقمية بغية الوصول إلى أكثر جدوى في النقل أو التخزين
- تأمين المعلومة ضد الاستعمال غير المشروع
- تأمين المعلومة ضد أخطاء النقل وغيرها من الضوضاء
- وضع البيانات في قالب يتماشى أكثر مع التطبيقات
- وضع البيانات في قالب يتماشى أكثر مع المعالجات (الخوارزميات) التي نريد أن نجريها عليها ،

4- 1 - 3 - 2 أهم الشفرات المستعملة في الكمبيوتر

من أهم الشفرات المستعملة في الكمبيوتر شفرة آسكي (**ASCII: American Standard Code for Information Interchange**) وهي الشفرة الأمريكية القياسية لتبادل المعلومات. تستعمل هذه الشفرة لتمثيل مختلف الحروف من مختلف اللغات وكذلك الرموز الأكثر استعمالاً في الوثائق التي يتعامل معها الحاسب الآلي. يستعمل الكود 7 بت لكل حرف أو رمز (**character**) وبت ثامن للتعادل (**parity bit**). ونعطي في آخر هذه الوحدة جدول آسكي.

4- 1- 4 : عمليات التشفير وفك التشفير المتعلقة بالخط وفصل البيانات

يرمي تشفير الخط الذي سنرى تفاصيله في الفقرة 4 – 2 إلى وضع البيانات في قوالب تضمن لها صلابة ضد الضوضاء التي قد تحدث في القناة. كما نستعمل غالباً القوالب التي تمكننا في نفس الوقت من تصحيح الأخطاء في حال حدث تشويه للبيانات أو على الأقل اكتشاف هذه الأخطاء.

تتم محاولة تأمين البيانات ضد الأخطاء بواسطة التشفير المناسب (**Encoding / encryption**) وذلك بإدماج بتات إضافية داخل سلاسل البتات بطريقة متفق عليها ، ويعطي اختبار هذه البيانات الإضافية لاحقاً فكرة عن إمكانية تعرض هذه البتات للتشويه خلال النقل واكتشاف مواقع الأخطاء ومن ثم إصلاحها.

توجد شفرات هامة متداولة في الاتصالات الرقمية سنعرض بعضها في الفقرة التالية الخاصة بتشفير الخط، بينما نعرض البعض الآخر في الوحدة الخاصة بتشفير المصدر. ومن الجدير بالذكر أن الشفرات قد تستعمل لأغراض مختلفة مما ذكرنا أعلاه وقد يختصر استعمالها على موضع معين (المصدر، الخط، ...إلخ) إلا أنها تكون مفيدة في الاستعمالات والتطبيقات المختلفة، وهو أمر لا يتسع المجال لتناوله هنا.

4 – 2 تشفير الخط

تشفير الخط: هي تقنية تشفير مستعملة في نقل المعلومات حيث تحول كميات البيانات المنقولة إلى قوالب خاصة مناسبة للنقل.

4- 2- 1 العوامل الواجب مراعاتها عند اختيار التشفير

1) **جهد النقل والعنصر dc ومستويات النقل تصنف كالآتي:**

- أحادية القطب وتشمل مستويين أحدهما يختلف عن الصفر (V- أو V+) ويمثل 1 منطقي و 0V يمثل 0 منطقي
- ثنائية وتشمل مستويين يختلفان عن الصفر وهما أو V+ ويمثل 1 منطقي و V- ويمثل صفر (0) منطقي

لاحظ: في النقل الرقمي لابد من إزالة العنصر المستمر dc لكي تسترجع على القيم الصحيحة في الخرج، لذا يحبذ استعمال القطبية الثنائية

2) **دورة العمل duty cycle**: طبقاً لدورة النبضة المستعملة يوجد صنفان للنقل

- عدم الرجوع للصفر NRZ إذا احتفظنا بالنبضة لكامل مدة البت
- رجوع للصفر RZ إذا كانت مدة النبضة أقل من مدة البت

3) **عرض النطاق**: أدنى عرض نطاق لازم لتمرير إشارة بتشفير الخط يحسب باعتبار
- أعلى تردد في طيف الإشارة والذي يحسب لأسوأ حالة ممكنة
- أسوأ حالة ممكنة هي توالي الواحد و الصفر باستمرار

4) **استرجاع إشارات التزامن**: لكي يتم استرجاع المعلومة الخاصة بالتزامن لا بد من أن تكون هناك كمية كافية من البيانات المنقولة. في دائرة استرجاع إشارة التزامن، يتم ببساطة تصحيح البيانات لكل موجة تامة ويتم بذلك إنشاء إشارة تزامن مستقلة عن البيانات ومساوية لمعدل البيانات المستقبلة. لذا يعتبر التشفير ثنائي القطبية مع عدم الرجوع للصفر (BPRZ) هو أحسن تشفير.

5) **اكتشاف الأخطاء**
- تملك بعض الأنماط القدرة على اكتشاف الأخطاء دون إدخال بتات للغرض في سلسلة البتات المنقولة
- باستعمال طرق التشفير UPNRZ و UPRZ و BPNRZ و BPR، لا يمكن تحديد ما إذا كانت هناك أخطاء من صنف BPRZ-AMI، أي وجود أخطاء متتالية لا تخل بحساب القطبية (خطأين فأكثر). لذلك توجد في التشفير الثنائي القطبية BPRZ-AMI آلية خاصة لاكتشاف الأخطاء.

6) **سهولة الاكتشاف وفك الشفرة**
لأن النقل أحادي القطب يشمل نقل جهد أحادي القطب فقط، يعطي للإشارة معدلاً بقيمة +V/2 ، حيث
- معدل جهد النقل الثنائي القطب هو 0V
- الجهد المستمر غير مرغوب فيه لأنه يؤثر سلباً على دخل المقارن () ويتسبب في استقبال خاطئ للنبضات الواردة
- لذا فإن النقل الثنائي القطب أفضل للنقل.

4- 2- 2 **قوالب تشفير الخط (Line Coding Formats)**
توجد قوالب متعددة لتشفير الخط تندرج أساساً في أصناف هي:
- شفرة عدم الرجوع إلى الصفر **(NRZ)**

- شفرة الرجوع إلى الصفر (**RZ**)
- شفرة ثنائية الطور وتعرف بشفرة مانشستر (**Biphase or Manchester Code**)
- شفرة تضمين التأخير أو شفر ملّر (**Delay Modulation or Miller Code**)

ويشمل كل صنف من الأصناف المذكورة آنفا أنواعا تختلف عن بعضها البعض ولكل منها إيجابياتها وسلبياتها. نستعرض فيما يلي أصناف الشفرات الأربعة المذكورة أعلاه.
نعطي فيما يلي مختلف الأنماط ومثالاً لما يعطيه كل نمط باعتماد نفس الشفرة كما نعطي لاحقاً شكلاً يتضمن ما تعطيه كل الشفرات. وتجدر الإشارة إلى أننا قد اعتمدنا نصف دورة البت كوحدة زمنية لكي تسهل المقارنة بين مختلف الأنماط. وسنعطي في نهاية الاستعراض مختلف الأنماط شكلاً نعتمد فيه دورة البت كوحدة زمنية.

4- 2- 2- 1 شفرة عدم الرجوع إلى الصفر (NRZ)

وفيها أنواع عدة نستعرضها فيما يلي.

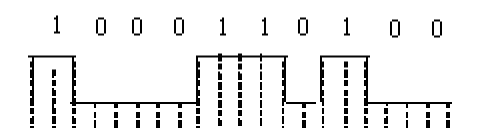
1) عدم الرجوع لمستوى الصفر (Non Return to Zero Level: NRZ-L)

- **1 منطقي**: تبقى الإشارة في مستوى عال (HIGH) طوال دورة البت كاملة
- **0 منطقي**: تبقى الإشارة في مستوى منخفض (LOW) طوال دورة البت كاملة

سلبياته:

- فولتية مستمرة (DC) عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الآحاد أو الأصفار
- لا بد من استعمال جزء سابق يحمل إشارة التزامن لضمان الفك الصحيح للتشفير عند الاستقبال.

مثال ذلك



إشارة NRZ-L بالنسبة للموجة 1000110100

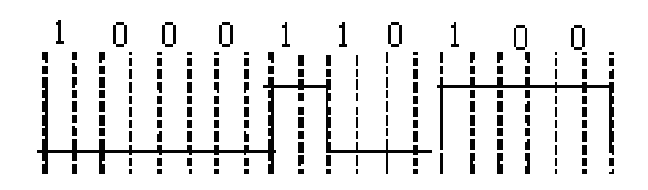
2) عدم الرجوع لعلامة الصفر (Non Return to Zero Mark: NRZ-M)
(التشفير التفاضلي differential Coding)

- **1 منطقي**: تغيير واحد في بداية دورة البت كاملة
  - إذا كانت الإشارة قبل ذلك منخفضة، تصبح عالية
  - إما إذا كانت الإشارة قبل ذلك عالية، فتصبح منخفضة
- **0 منطقي**: تبقى الإشارة في مستواها السابق وتحافظ عليه طوال دورة البت كاملة.

سلبياته:

- فولتية مستمرة عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأصفار

مثال ذلك



إشارة NRZ-M بالنسبة للموجة 1000110100

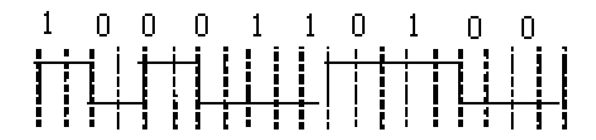
3) عدم الرجوع لفراغ الصفر (Non Return to Zero Space: NRZ-S)

- **1 منطقي**: تبقى الإشارة في مستواها السابق وتحافظ عليه طوال دورة البت كاملة
- **0 منطقي**: تغيير واحد في بداية دورة البت كاملة
  - إذا كانت الإشارة قبل ذلك منخفضة، تصبح عالية
  - إما إذا كانت الإشارة قبل ذلك عالية، فتصبح منخفضة

سلبياته:

- فولتية مستمرة عالية
- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الآحاد.

مثال ذلك



إشارة NRZ-S بالنسبة للموجة 1000110100

4- 2- 2- 2 شفرة الرجوع إلى الصفر (RZ)

نعني بهذا التشفير عادة الإشارة المضمنة بسعة النبضات () وقد درستاها بإطناب في الوحدة المخصصة لذلك. إلا أن فيها صنفين نستعرضها فيما يلي

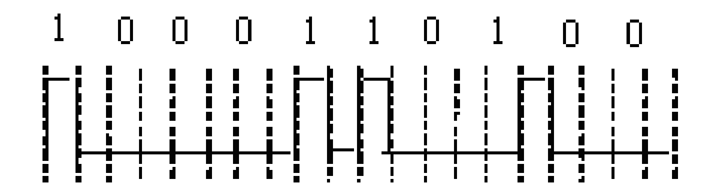
1) الرجوع الأحادي القطبية لمستوى الصفر: (Unipolar Return to Zero: UPRZ)

- **1 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في بداية الدورة من منخفض إلى عال
  - التغير الأول في منتصف الدورة من عال إلى منخفض
  - دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للآحاد
- **0 منطقي**: تبقى الإشارة منخفضة طوال دورة البت كاملة

سلبياته:

- نقصان الفولتية المستمرة
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق تشفير NRZ.

مثال ذلك



إشارة UPR-Z بالنسبة للموجة 1000110100

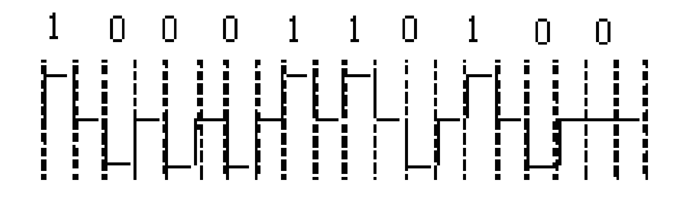
2) الرجوع الثنائي القطبية لمستوى الصفر:
(Bipolar Return to Zero: BPRZ)
أو (Polar Return to Zero: PRZ)

- **1 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في بداية الدورة من منخفض 0V إلى جهد موجب
  - التغير الثاني في منتصف الدورة من جهد موجب إلى 0V
- **0 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في بداية الدورة من 0V إلى جهد سالب
  - التغير الثاني في منتصف الدورة من جهد سالب إلى 0V
- يعرف هذا التشفير أيضا باسم التشفير القطبي وكذلك باسم التشفير الثلاثي القطب، نظراً لاستعماله ثلاثة مستويات للفولتية (V+ و 0V و V-)
- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للآحاد

سلبيته: نقصان الفولتية المستمرة

إيجابيته: إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

مثال ذلك



إشارة PRZ or BPRZ بالنسبة للموجة 1000110100

3) الرجوع الصفر مع العكس المتردد للمستوى:
(Return to Zero-Alternate Mark Inversion: RZ-AMI)

- **1 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في بداية الدورة من 0V إلى إيجابي أو سلبي
  - التغير الثاني في منتصف الدورة من إيجابي أو سلبي إلى 0V
  - دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للآحاد
- **0 منطقي**: تبقى الإشارة منخفضة (LOW) طوال دورة البت كاملة

لاحظ:

الواحد الأول يغير الفولتية من 0 إلى موجب بينما يغير الواحد الثاني الفولتية من 0 إلى سالب وهكذا تتواصل التغيرات بالنسبة للآحاد.

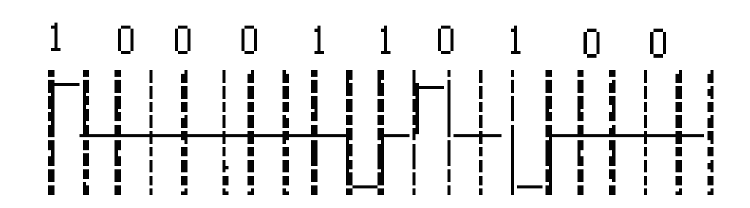
سلبياته:

- فقدان إشارة التزامن بالنسبة لمتتاليات الأصفار.

إيجابيته:

- لا وجود لجهد مستمر
- عرض نطاق يساوي عرض نطاق شفرة NRZ.

مثال ذلك



إشارة RZ-AMI بالنسبة للموجة 1000110100

4- 2- 2- 3 شفرة العلامة الثنائية الطور أو شفرة مانشستر:
Biphase- Level or Manchester code

1) شفرة العلامة الثنائية الطور أو شفرة مانشستر:
Biphase- Level (BI Φ –L) or Manchester II code

- **1 منطقي:** تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في منتصف الدورة
  - التغير الثاني في أول الدورة
- **0 منطقي:** تغيير في بداية الدورة
- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للآحاد

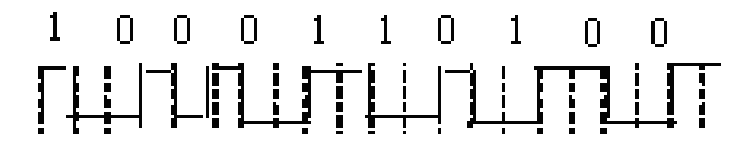
سلبياته:

- جهد مستمر مرتفع
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

مثال ذلك



إشارة Biphase-L بالنسبة للموجة 1000110100

2) شفرة العلامة الثنائية الطور أو شفرة مانشستر:

Biphase- Mark (BI Φ –M) or Manchester I code

- **1 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في منتصف الدورة
  - التغير الثاني في أول الدورة
- **0 منطقي**: تغيير في بداية الدورة

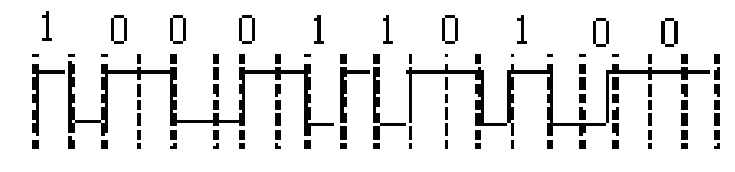
سلبياته:

- جهد مستمر مرتفع
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

مثال ذلك



إشارة Biphase - M بالنسبة للموجة 1000110100

3) شفرة العلامة الثنائية الفراغ:

Biphase- Space (BI Φ –S) code

- **1 منطقي**: تغيير في بداية الدورة
- **0 منطقي**: تغييران اثنان خلال دورة البت
  - التغير الأول في بداية الدورة
  - التغير الثاني في منتصف الدورة
- دورة العمل تساوي نصف دورة البت بالنسبة للصفر

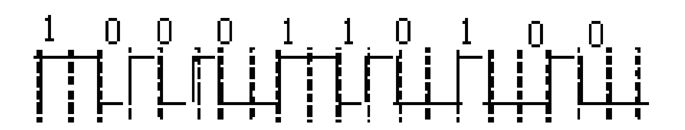
سلبياته:

- جهد مستمر مرتفع جداً
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

إيجابيته:

- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.

مثال ذلك



إشارة Biphase-S بالنسبة للموجة 1000110100

4- 2- 2- 4 شفرة تضمين التأخير أو شفرة ملّر:

Delay modulation (DM) or miller code

- **1 منطقي**: تغيير في منتصف الدورة
- **0 منطقي**: لا تغيير خلال الدورة إلا في حالة وجود 0 ثانٍ، حيث يتم التغيير بالنسبة للصفر الثاني في بداية الدورة ويكون معاكساً للتغيير السابق

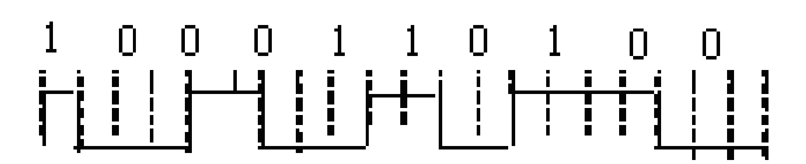
سلبياته:

- تخفيض الجهد المستمر

إيجابيته:

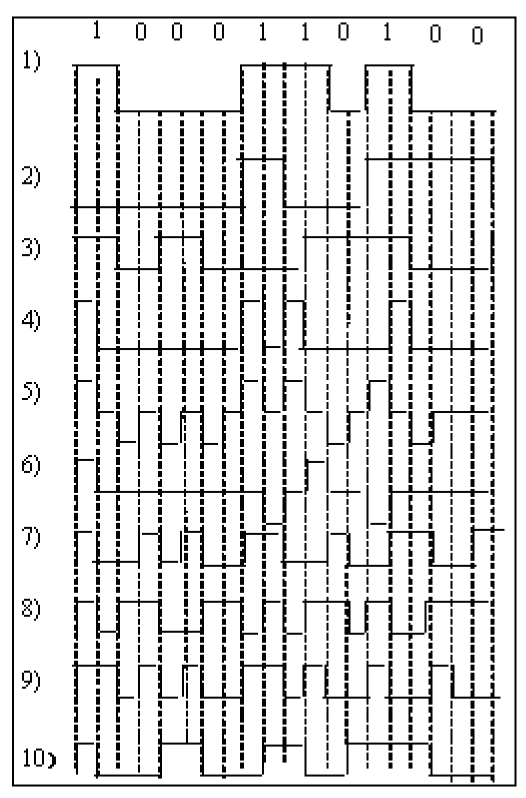
- إشارة التزامن ضمن سلاسل البت.
- عرض نطاق يساوي ضعف عرض نطاق شفرة NRZ.

مثال ذلك



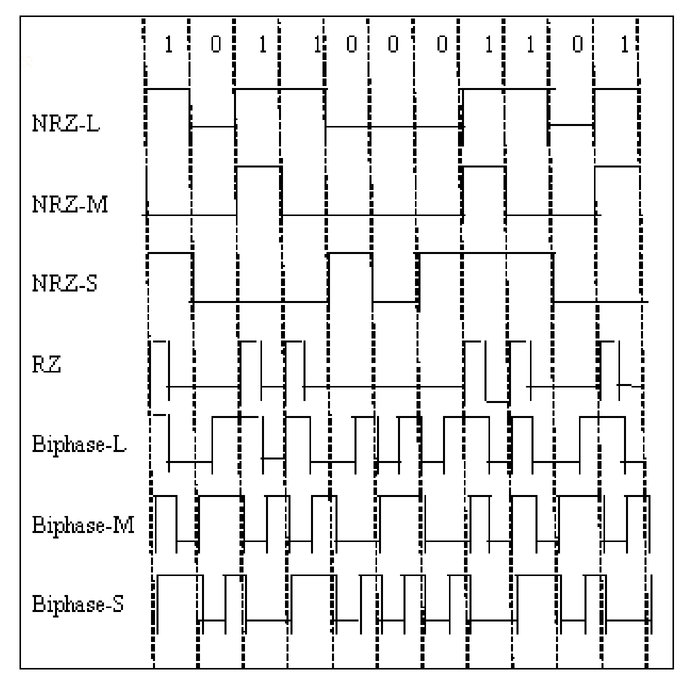
إشارة DM بالنسبة للموجة 1000110100

وفي الشكل الموالي نستعرض كل أشكال الموجات التي حصلنا عليها آنفا عندما تكون لدينا سلسلة البتات التالية: 1000110100. وتجدر الانتباه مجدداً إلى أننا قد اعتمدنا نصف دورة البت كوحدة زمنية لكي تسهل المقارنة بين مختلف الأنماط.



الشكل 4- 7: الموجات والقواعد (الوحدة الزمنية: نصف دورة البت)

أما في الشكل الموالي فنستعرض كل أشكال الموجات التي حصلنا عليها آنفا عندما تكون لدينا سلسلة البتات التالية: 1000110100 وذلك باعتماد دورة البت كوحدة زمنية.



الشكل 4- 8 أمثلة لتشفير الخط (الوحدة الزمنية: دورة البت)

4- 2 - 3 تقييم مختلف القوالب

يمكن تقييم قوالب التشفير باعتبار معايير مختلفة نخص بالذكر منها :

- أدنى عرض نطاق تستوجبه الشفرة
- معدل الجهد المستمر الواجب توفيره
- إمكانية استرجاع الساعة من الشفرة
- قدرة الشفرة على اكتشاف الأخطاء وربما تصحيحها

نستعرض في الجدول الموالي التقييم باعتبار المعايير المذكورة

قالب الشفرة	أدنى عرض نطاق	معدل DC	استرجاع الساعة	اكتشاف الأخطاء
UPNRZ	✓ $f_b/2$	$+V/2$	سيئ	لا
BPNRZ	✓ $f_P/2$	✓ O	سيئ	لا
UPPZ	f_b	$+V/4$	حسن	لا
BPRZ	f_b	✓ O V	الأحسن	لا
BPRZ-AMI	✓ $f_b/2$	✓ O V	حسن	نعم ✓

والآن نستعرض كيف تكون قيمة البتات 0 و 1 بعد تشفيرها بمختلف الطرق التي رأيناها سابقاً.

نوع التشفير	قيمة البت بعد التشفير
NRZ – L	1 منطقي يبقى 1 0 منطقي يبقى 0
NRZ –M	1 منطقي يتغير عن الوضع السابق 0 منطقي لا يتغير عن الوضع السابق
NRZ –S	1 منطقي لا يتغير عن الوضع السابق 0 منطقي يتغير عن الوضع السابق
UPRZ	1 منطقي يصبح 10 0 منطقي يبقى 0
PRZ و BPRZ	1 منطقي يصبح 10 0 منطقي يصبح 10
BRZ – AMI	1 منطقي الأول يصبح 10 الموالي يصبح 10 0 منطقي يبقى 0
BIΦ-L	1 منطقي يصبح 10 0 منطقي يصبح 01
BIΦ – M	1 منطقي يصبح 10 أو 01 0 منطقي يتغير عن الوضع السابق
BIΦ – S	1 منطقي يتغير عن الوضع السابق 0 منطقي يصبح 10 أو 01
DM	1 منطقي يتغير مرة واحدة في وسط الدورة 0 منطقي الأول لا يتغير عن الوضع السابق الثاني يتغير عن الوضع لسابق

وختاما نعرض جدول شفرة آسكي (ASCII Code)

Dec	Hex	Char		Dec	Hex	Char		Dec	Hex	Char
32	20	(space)		64	40	@		96	60	`
33	21	!		65	41	A		97	61	a
34	22	"		66	42	B		98	62	b
35	23	#		67	43	C		99	63	c
36	24	$		68	44	D		100	64	d
37	25	%		69	45	E		101	65	e
38	26	&		70	46	F		102	66	f
39	27	'		71	47	G		103	67	g
40	28	(		72	48	H		104	68	h
41	29	)		73	49	I		105	69	i
42	2a	*		74	4a	J		106	6a	j
43	2b	+		75	4b	K		107	6b	k
44	2c	,		76	4c	L		108	6c	l
45	2d	-		77	4d	M		109	6d	m
46	2e	.		78	4e	N		110	6e	n
47	2f	/		79	4f	O		111	6f	o
48	30	0		80	50	P		112	70	p
49	31	1		81	51	Q		113	71	q
50	32	2		82	52	R		114	72	r
51	33	3		83	53	S		115	73	s
52	34	4		84	54	T		116	74	t
53	35	5		85	55	U		117	75	u
54	36	6		86	56	V		118	76	v
55	37	7		87	57	W		119	77	w
56	38	8		88	58	X		120	78	x
57	39	9		89	59	Y		121	79	y
58	3a	:		90	5a	Z		122	7a	z
59	3b	;		91	5b	[		123	7b	{
60	3c	<		92	5c	\		124	7c	|
61	3d	=		93	5d	]		125	7d	}
62	3e	>		94	5e	^		126	7e	~
63	3f	?		95	5f	_		127	7f	DEL

أساسيات الاتصالات الرقمية

التعديل بالإزاحة

الوحدة الخامسة : التعديل بالإزاحة
Shift Keying (SK)

الجدارة: نحصل على هذا النوع من التضمين عندما يقوم سيل من الخانات الثنائية (إشارة تضمين الدخل الثنائية) بتغيير أحد معاملات الإشارة الحاملة: تعديل السعة أوالتردد أوالطور، ويعرف هذا النوع من التضمين أيضاً باسم التضمين الرقمي(Digital Modulation: DM) أو تضمين إمرار النطاق (Band Pass Modulation: BPM)،

يوجد ثلاثة أشكال رئيسة للتعديل الرقمي وهي:

- تعديل إزاحة السعة (Amplitude shift keying) (ASK)
- تعديل إزاحة التردد (Frequency shift keying) (FSK)
- تعديل إزاحة الطور (Phase Shift keying) (PSK)

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪ بإذن الله .

الوقت المتوقع: 9 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودروس الوحدة السابقة من هذه الحقيبة.

1-5 العلاقة بين معدل الخانات (bit rate) ومعدل الرموز (Baud rate)

كل نوع من أنواع تعديل الإمرار النطاقي (ASK,FSK,PSK) يمكن أن تكون ثنائية أوتعامدية أومتعددة المستوى (ميميه).

5 – 1 - 1 التضمين الثنائي (Binary modulation):

كل خانة (bit) على المدخل مسؤول عن تغيير رمزواحد في أحدمعاملات الموجة الحاملة على المخرج وعليه فإن :

Rb = Rs

2^N M=

2^2 N = logM = log=1 (1-5)

حيث :

Rb : سرعة الخانات أوسرعة البيانات (وتعني معدل التغيرات على مدخل المضمن وهي تمثل عددالخانات المرسلة في الثانية الواحدة ووحدتها bit /sec)

Rs : سرعة الرموز أوالسرعة البودية (سرعة التغيرات على مخرج المضمن وهي تمثل عددالتغيرات في أحد معاملات الموجة الحاملة : السعة أو الترددأوالطور) .

M : العددالكلي للرموزالمحتملة .

N : عددالخانات المحمولة ضمنياً في كل رمز (عددالخانات المسؤولة عن الرمزالواحد)

5- 1- 2 التضمين التعامدي (Quadrature modulation):

كل اثنين من الخانات مسؤولة عن رمزواحد(تغير واحدفي الموجة الحاملة) وعليه فإن :

Rs = Rb/2

= 4 2^2 = 2^N M= (2-5)

N= log2 M = log 4 = 2

5 – 1 - 3 أنظمة التضمين المتعددة المستوى (الميمية) :

كل عدد(N) من الخانات مسؤول عن تغيرواحدـ في الموجة الحاملة (أى رمزواحد) وعليه فإن :

$$Rs = Rb/N = Rb/\log 2\ M$$

$$M = 2^{N}$$

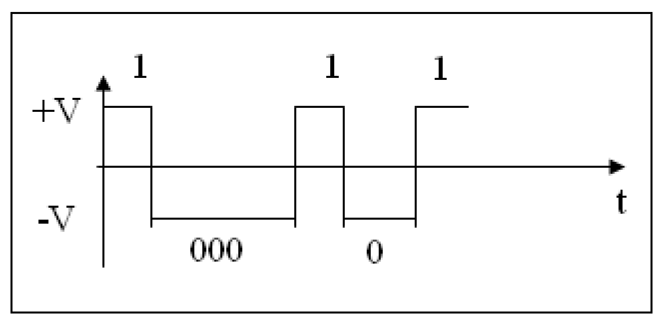
$$N = \log 2\ M \qquad (3\text{-}5)$$

2-5 تعديل إزاحة السعة مفتاحياً (ASK):

ويقصدبه إزاحة سعة الموجة الحاملة (Ac sin wct) او(Ac cos wst) من القيمه الأدنى في حالة الصفرالمنطقي(0) إلى القيمة العليا في حالة الواحدالمنطقي(1) ولهذا النوع من التعديل حالتان:

أولاً: الحالة العامة

توليد إشارة (ASK) باستخدام إشارة التضمين ثنائية القطبية (تحمل مواصفات التضمين التماثلي من نوع التضمين السعوي ذي النطاق الجانبي المزدوج مع الحامل (AM.DSBTC) كما هو موضح بالمثال (1-5)



شكل (1-5) إشارة تضمين النطاق الأساسي على المدخل

1) نفترض أن إشارة النطاق الأساسي Vm(t) من النمط(NRZ-L) ثنائية القطبية والموجة الحاملة هي

$$Vc(t)= Ac \cos 2\pi fct$$

2) باستخدام القاعدة المعروفة والخاصة بالتضمين السعوي نحصل على معادلات(ASK) كما يلي:

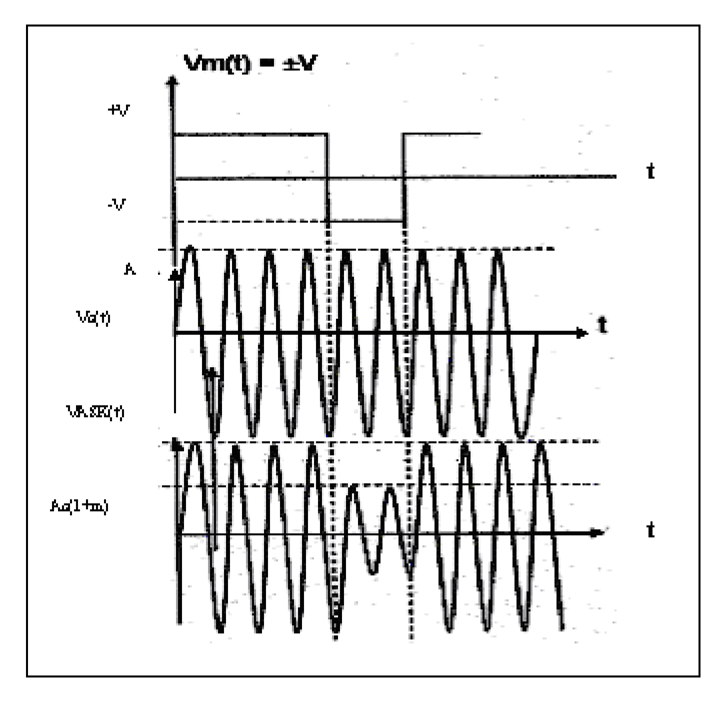
$$V_{ASK(t)} = [A\pm V_{m(t)}] \cos 2\pi\ fct$$
$$= [Ft\pm v] \text{ Cos } 2\pi\ fct$$
$$= A[1\pm V/A] \text{ Cos } 2\pi\ fct$$
$$= A[1\pm m] \text{ cost } 2\pi\ fct$$

وأخيراً فالشكل العام لإشارة (ASK) كالتالي

$$V_{ASK(t)} = A\ [1\pm m] \cos 2\pi fct \qquad (4\text{-}5\ ) \quad .$$

حيث : (m) هو معامل التضمين

والشكل البياني للموجات موضح في الشكل (2-5)



الشكل(5-2) تضمين (ASK)

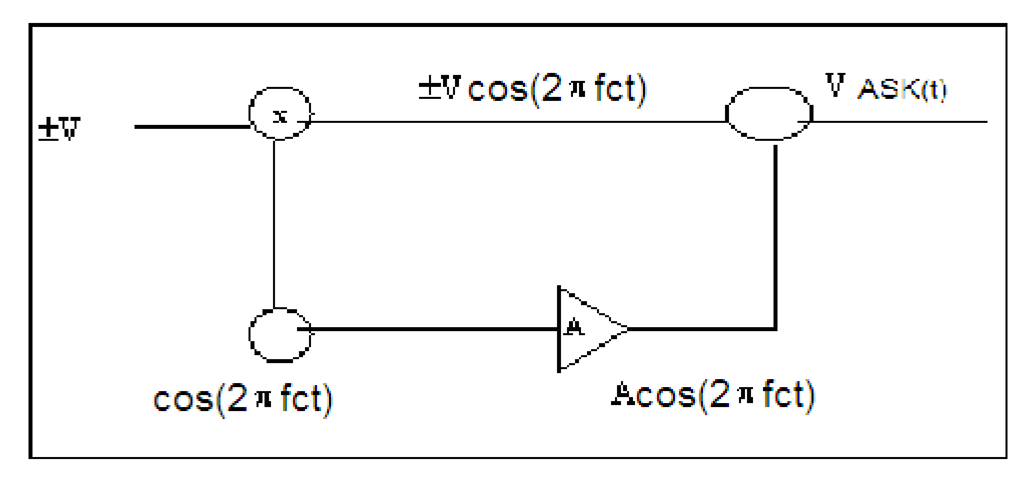
الفاعلية القصوى لإشارة (ASK) (Efficiency)

ونحصل عليها عندما يكون معامل التضمين $m = 1$

وفي هذه الحالة تزاح السعة مابين (0V إلى 2A)

توليد (ASK) (مضمن ASK)

تستخدم نفس الدائرة الوظيفية المستخدمة في توليدالتضمين السعوي التماثلي كما هو مبين في الشكل(5-3)



الشكل(5-3) مضمن (ASK)

كشف (ASK) (كاشف ASK)

يستخدم كاشف الغلاف (Envelope detector)

ثانيا : الحالة الخاصة

وهي تشبه التضمين التماثلي من نوع النطاق المزدوج مع طرد الحامل (DSB-SC) ويطلق على هذا النوع اسماً خاصاً هوتعديل الفتح والقفل (OOK) (ON-OFF KEYING)

ويمكن توضيح هذا التعديل بالخطوات التالية:

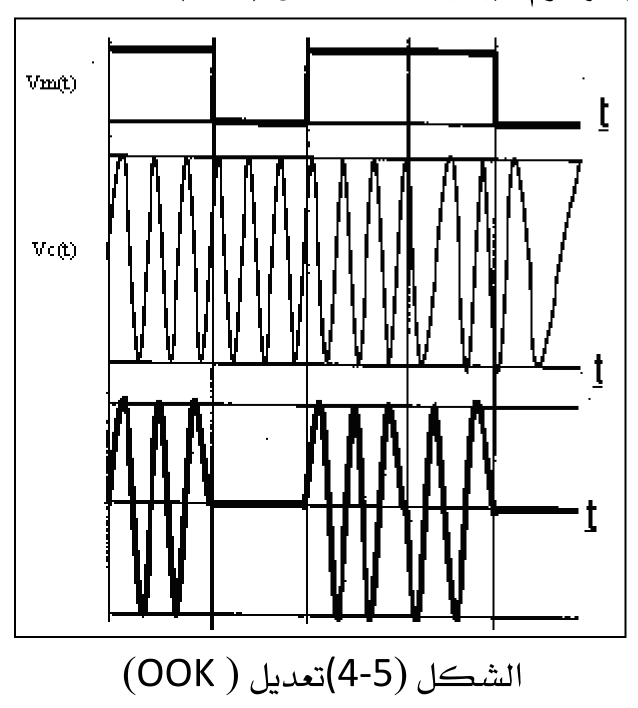
1) يستخدم سيل الخانات الثنائي أحادي القطبية (unipolar) كإشارة تضمين (modulating signal)

Vm (t) ={ +1 V logic 1
or
{ 0V logic 0

2) إشارة OOK نحصل عليهاكنتيجة لعملية ضرب إشارة الموجة الجيبية الحاملة وإشارة التضمين حسب المعادلة (5-5)

Vook(t) =Vm (t) *Vc (t) (5-5)
=Vm * Ac cos wct
= { Ac*cos wct for logic 1
{ 0 for logic 0

ويمكن توضيح هذه العملية بالرسوم البيانية في الشكل (5-4)

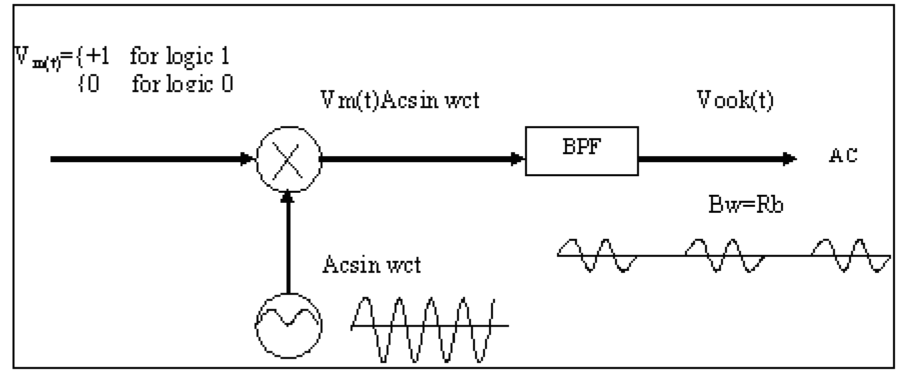


الشكل (5-4)تعديل (OOK)

توليد إشارة تعديل (OOK) (مضمن OOK)

تستخدم دائرة مماثلة كتلك التي درستها في مقرر الاتصالات وتعتمد على استخدام المضمنات المتزنة (Balanced Modulators) (المضمن الحلقي كمثال على ذلك)

الشكل (5-5) توليد إشارة (OOK) باستخدام المضمن المتزن



الشكل (5-5) (دائرة توليد OOK)

كشف تعديل الفتح والقفل (OOK Detection)

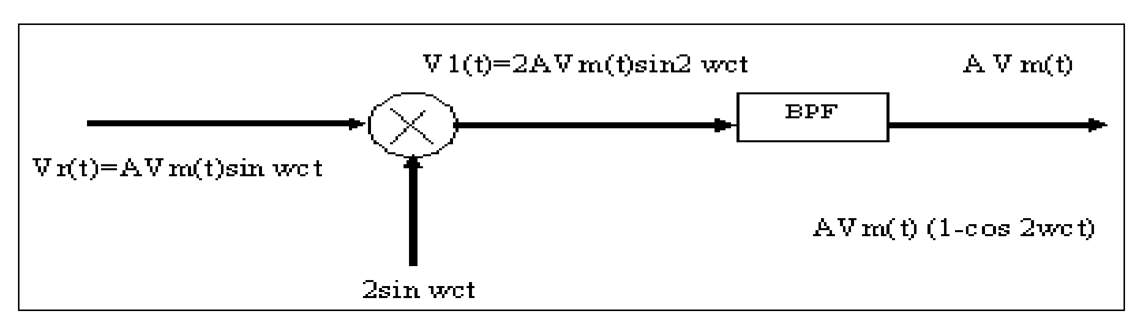
يوجد نوعان من الكشف:

1) الكشف الترابطي (coherent detection)

أو التزامني (synchronous detection)

هذا النوع من الكشف يتطلب موجة حاملة مرجعية (reference carrier) يتم توليدها في جهاز الاستقبال بدلاً من الموجة الحاملة التي تم ضغطها في المرسل . آخذين في الاعتبار أن الموجة الحاملة التي يتم توليدها في المستقبل يجب أن تكون متوافقة من حيث الترددوالطور مع تلك التي تم ضغطها في المرسل وإذا لم تتم مراعاة هذه الشروط يحدث تشوه في الإشارة يسمى عدم توافق الطور والتردد (phase & frequency mismatch distortion)

الشكل (5-6) يبين دائرة الكشف الترابطي وهي نفس الدائرة المستخدمة في كشف تضمين (AMDSB-SC) بواسطة الكشف التزامني (synchronous detection)

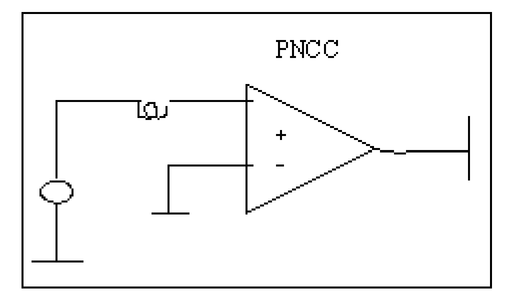


الشكل (5-6) (دائرة كشف ترابطي OOK)

2)**الكشف اللا ترابطي** (Non Coherent Detection)

أواللاتزامني (Asynchronous detection)

في هذا النوع لاداعي لتوليد الموجة الحاملة في جهاز الاستقبال ونستطيع استخدام كاشف الغلاف (Envelope detector) كما هو موضح بالشكل (5-7)



الشكل (5-7) (المخطط الوظائفي لدائرة الكاشف اللاترابطي)

مبدأ العمل:

1) النصف الموجب من الموجة يسمح له بالمرور عبر الصمام الثنائي (diode) وهو أحد أجزاء كاشف الغلاف ومن ثم يقوم المكثف بالشحن السريع لأن تأثير زمن الشحن(time constant of charge)صغير جداً بسبب صغر مقاومة التوصيل للصمام (forward resistance)
بينما يكون الصمام في حالة قطع (reverse biased) عند قدوم نصف الموجة السالب من إشارة المدخل يحاول المكثف التفريغ عبر المقاومة الكبيرة (R) لكنه لايستطيع ذلك لأن ثابت زمن التفريغ مرتفع حسب T =R*C باستثناء عمليات تفريغ ضئيلة جداً تؤدي إلى تكون تموج على إشارة المخرج لكاشف الغلاف

2) ولكن يتم تنعيم هذا التموج باستخدام دائرة المرشح الإمراري المنخفض والنتيجه نبضات ليست منتضلمة الشكل تماماً

3) استرجاع الشكل المثالي لهذه النبضات يتم بتمريرها عبر استرجاع شكل الموجة الثنائية (binary restoration) باستخدام دائرة المقارن (comparator)

عرض النطاق في أنظمة (OOK) (OOK Bandwidth)

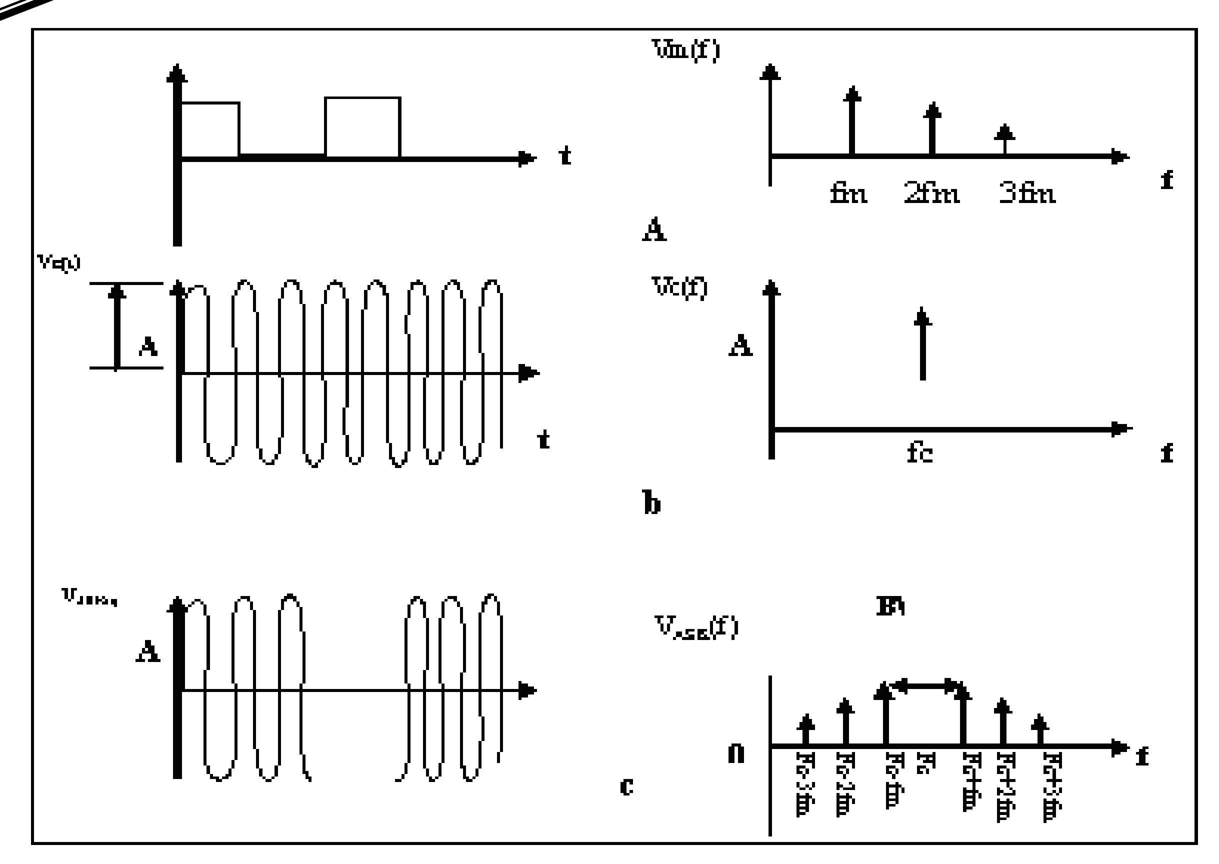
1) يحسب عرض النطاق للحالة الأسوأ أي عندما تكون إشارة التضمين Vm(t) عبارة عن إشارة (pcm) مكونة من تتابع دوري للواحد والصفر(ones followed by zeros)

في هذه الحاله يكون أقل زمن دوري $Tm = 2Tb$

وأقصى تردد أساسي $fm = 1/Tm = 1/2Tb = Rb/2$

2) إشارة (OOK) نحصل عليها من حاصل ضرب الموجة الحاملة بتردد(Fc) مع الموجة المربعة Vm(t)(إشارة التضمين)

الطيف الترددي للموجة الناتجة موضح في الشكل (8c-5) وهومكون من خط عند تردد(Fc) ومجموعة مركبات ترددية متباعدة بمقدارالمضاعفات الفردية لتردد(Fm) على كلا جانبي (Fc)



الشكل (5-8) الطيف الترددي للإشارات الناتجة من (OOK)

ومن الشكل(5-8c) نرى أن العلاقة التي تربط (Fm) مع سرعة المعلومات (data rate) (Rb) يمكن توضيحها بالعلاقة التالية:

$$Rb=1/Tb=1/(Tm/2)=2Fm$$

4) وكماهومعروف فإن عرض النطاق يحددبمقدار المركبات الترددية على كلا جانبي (Fc) مما يعني أن عرض النطاق يمكن أن يكون لانهائياً وهذا غير مسموح به وإذا اقتصرنا على زوج المركبات الجانبية الأول باعتبار أن معظم الطاقة محصورة بين هذه المركبات فإن عرض النطاق (Bandwidth) يكون حسب المعادلة (5-3) :

$$BT=Rb=2Fm \qquad (5\text{-}6)$$

مسألة 5-1 :
إشارة (NRZ-PCM) ثنائية بسرعة معلومات تساوي (200 Kbit/sec) تقوم بتضمين إشارة حاملة حسب النمط (ASK) أوجد عرض نطاق الإشارة المرسلة

الأداء : (نسبة الخطأ في الخانات ونسبة الخطأ في الرموز)

Performance: (bit error rate & symbol error rate)

1) في أنظمة الاتصالات الرقمية يتم الحكم على أداء وجودة النظام بمايسمى معدل الخطأ في الخانات (BER) أو احتمالية الخطأ في الخانات (Probability of bit error) ويرمز لها (PB)

كما يستخدم ايضاً مصطلح معدل الخطأ في الرموز (Probability of symbol error) ويرمز لها بالرمز (PE)

2) الخطأ في الخانات يحدث كنتيجة لحدوث خطأ في الرمز (تغير إحدى معاملات الموجة الحاملة كالسعة أو التردد أو الطور يسمى رمزاً) أثناء الارسال كنتيجة للضوضاء أو التداخل أوتداخل الرموز وغيرها .

3) لتوضيح العلاقه بين (BER) و (SER) نلقي نظرة على أنظمة التعديل المختلفة فمثلاً :

- في أنظمة التعديل الثنائية (BASK,BFSK,BPSK)

فإن كل رمز(symbol) يحمل ضمنياً خانة واحدة(1 bit) أوبمعنى آخر كل خانة مسؤولة عن تغيير واحد(الرمز) في إحدى معاملات الموجة الحاملة .

وعليه يكون : BER = SER أو PB = PE

- في أنظمة التعديل التعامدية (QASK,QFSK,QPSK)

فإن كل رمز يحمل ضمنياً خانتين (2 bit) وعليه تكون BER = 1/2 SER أو PB = 1/2 PE

- في أنظمة التعديل الميمية (μASK,μFSK,μPSK)

فإن كل رمز يحمل (N) من الخانات أو كل (N) من الخانات تؤدي إلى تغير رمز واحد من الرموز الممكنة للموجة الحاملة وعليه يكون :

$$PB = PE / N = PE / \log_2 M$$

حيث إن (M): العدد الكلي للرموز الممكنة (تغيرات السعة أو التردد أو الطور)

فمثلاً في نظام (16-PSK) فإن M = 16 و N= log2 16 = 4 مما يعني أن : PB = PE/ 4

وهكذا.......

4) معدل الخطأ في الخانات (BER) تعني حصراً (احتمالية استقبال الخانة المرسلة عبر خط الاتصالات بشكل خاطئ .

5) ولقدثبت رياضياً أن (تعني حصراً (احتمالية استقبال الخانة المرسلة عبر خط الاتصالات بشكل خاطئ .

6) ولقدثبت رياضياً أن (BER) يتناسب مع (Eb / No) وأن (SER) يتناسب مع (Es / No) حيث إن :

Eb,Es= متوسط الطاقة لكل خانة أولكل رمز بالترتيب

No= الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء (W/HZ)

أداء أنظمة (BASK) الثنائية

(Performance of binary BASK)

إن العلاقات الرياضية المستخدمة في تحديد الأداء سهلة الاستعمال ولكنها صعبة الاشتقاق ويعتمد على نظرية الاحتمالات ولذلك سنكتفي بسرد هذه العلاقات والإكثار من الأمثلة التي تساعد المتدرب على استخدامها .

وتعتمد هذه العلاقات على طبيعة الدوائر المستخدمة في استخلاص التضمين من كونها ترابطية أو لا ترابطية

1) الكشف الترابطي : (Coherent detection)

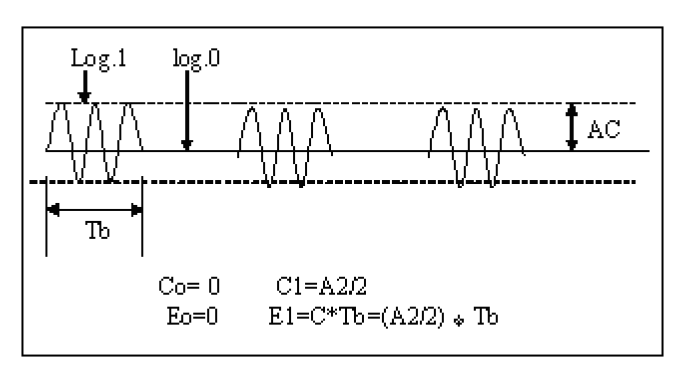
$$PB=PE= 1/2\ erfc\left(\sqrt{Eb/2No}\right) = 1/2\ erfc\left(\sqrt{C/4N}\right) = 1/2\ erfc\left(\sqrt{A^2Tb/8No}\right) \qquad (7-5)$$

2) الكشف اللا ترابطي :(Non Coherent detection)

$$PB = PE = e^{-(Eb/2No)} = 1/2\ e^{-(A2Tb/8No)} = 1/2\ e^{-(C/4N)} \qquad (8-5)$$

حيث إن $Eb = (E1+Eo) / 2$ متوسط القدرة لكل خانة(bit) (جول)

انظر إلى الشكل (5-9) الذي يوضح ذلك



شكل (5-9) إشارة(BASK) حالة (OOK)

$E1=C*Tb = A2\ Tb/2$

.الطاقه لكل خانة عند إرسال الواحد المنطقي

$Eo = 0$

.الطاقه لكل خانة عند إرسال الصفر المنطقي

وبالتالي يمكن كتابة :

$Eb = E1+E2/2= C\ Tb /2 = A2*Tb/4$

$C1=C= A2/2$

قدرة الموجة الحاملة عند مدخل المستقبل عندما يكون الواحد المنطقي هو المرسل

$Co = 0$

القدرة عند إرسال الصفر المنطقي

السعة العظمى للحامل المستقبل (A) ((A – Peak amplitude of the received carrier (v)

$No = N/BT= N/Rb = KT$ (W/HZ)

الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء

$N= KT*BT$ (W)

قدرة الضوضاء عند مدخل المستقبل

JK) 10^{-23} K =(1.38*

ثابت بولتسمان

$T= (TA+TR)$

درجة الضوضاء الكلية عند مدخل المستقبل(K)

TA: (TA) : درجة ضوضاء الهوائي (ناتجه عن الضجيج الخارجي)

$TR=T1+T2/a1 =T3/a1+a2+$...............

درجة ضوضاء المستقبل (ناجمة عن الضجيج الداخلي)

T1,T2,T3,........

درجة ضوضاء وحدات المستقبل المتتابعة

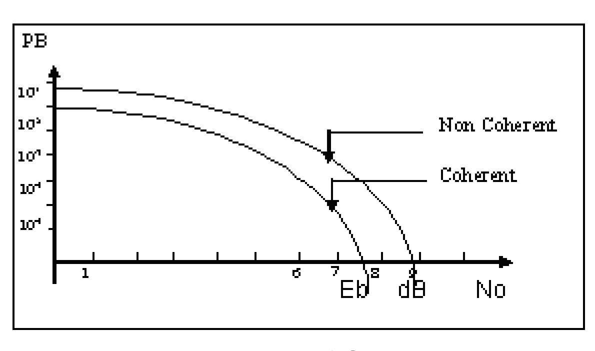
G1,G2,G2,....

معامل تكبير القدرة لوحدات المستقبل

C/N

نسبة قدرة الحامل إلى قدرة الضوضاء عندمدخل المستقبل

أداء أنظمة (BASK) الثنائية باستخدام منحنيات (BER) :



الشكل (10-5) المنحنيات (BER)

مسألة 2-5:
معلومة ثنائية أرسلت بمعدل (10 Kbit/s) باستخدام (OOK) وتردد الحامل يساوي (10MHZ) وسعة الحامل تساوي (V(2-) 10) والكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء المضافة تساوي (5-)10*5 (W/HZ)
صمم كاشفاً ترابطياً وأوجد معدل الخطأ في الخانات (BER)

3-5 تعديل إزاحة التردد
Frequency Shift Keying (FSK)

تردد الموجة الجيبية الحاملة ذات الترددالمرتفع يزاح من (Fs) (الترددالفراغ) في حالة الصفر المنطقي إلى (Fm) (تردد العلامة) في حالة الواحد المنطقي عند استخدام إشارة نطاق أساسي (base band) ثنائية القطبية (polar) .

وبكلمات أخرى:

الواحدالمنطقي والصفر المنطقي ترسل على ترددات مختلفة ذات انحراف ترددي Δ F ثابتة عن تردد الحامل (FC)

تحليل FSK:

1) التعبير العام لإشارة (FSK) الثنائية هو :

$$V_{FSK}(t) = (Ac \cos\{2\pi (fc + V_M(t))\, \Delta f)\, t\} \qquad (9-5)$$

حيث : V_{FSK}- موجة (FSK)الثنائية

- A سعة الحامل العظمى (Volts)

-Fc ترددالحامل المركزي (بدون انحراف) (HZ)

-Δf انحراف الترددالأقصى وتحدده سعة وقطبية الإشارة ((Vm (t)) (HZ)

-Vm (t) إشارة التضمين الثنائية على المداخل (± 1)

Logic (1) = +1 , Logic (0) = -1

2) وبناء عليه فإن المعادلة (5-9) يمكن كتابتها بالشكل التالي :

$$(a)\ V_{FSK}(t) = A \cos [\, 2\pi (f_c + \Delta f)\, t\,] = A \cos 2\pi f_m t .$$

$$\text{for a logic 1 , } V_m(t) = +1 \qquad (5\text{-}10)$$

$$(b)\ V_{FSK}(t) = A \cos [\, 2\pi (f_c - \Delta f)\, t\,] = A \cos 2\pi f_s t$$

$$\text{for a logic 0 , } V_m(t) = -1$$

ملحوظات :

أ) كلما تغيرت إشارة المدخل الثنائية من (Logic 0) إلى (Logic 1) وبالعكس فإنه تحدث ازاحة للتردد على المخرج (مخرج المضمن) بين ترددين هما :

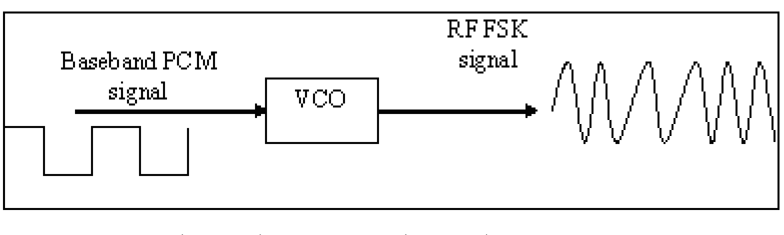
تردد العلامة أوتردد (Logic 1) ويساوي Fm=Fc+ΔF

وتردد الفراغ أوتردد (Logic 0) ويساوي Fs = Fc-ΔF

ب) ترددات العلامة والفراغ (Fm &Fs)متباعدة عن ترددالحامل (Fc) بمقدار انحراف الترددالأقصى أي (Fc±ΔF)

توليد إشارة (FSK) :

1) إشارة (FSK) يتم توليدها بواسطة جهاز يسمى المذبذب المحكوم بالفولت) (VCO) أو (Voltage Controlled Oscillator) وهو عبارة عن دائرة متكاملة في شريحة إلكترونية واحدة



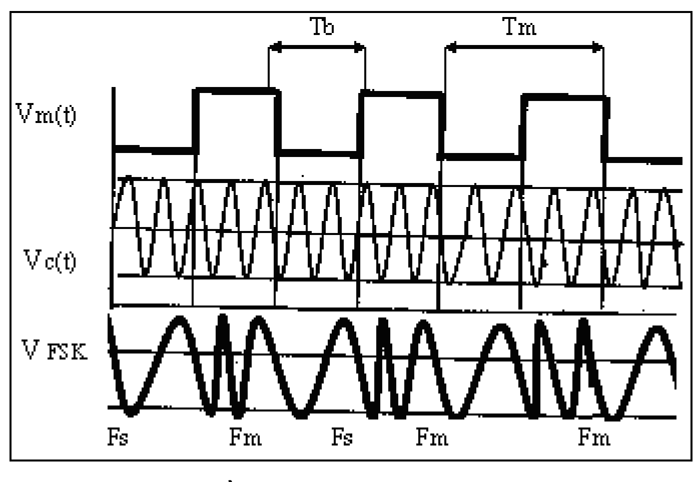
الشكل (5-12) المذبذب (VCO)

2) مبدأ عمل جهاز الـ(VCO):

يعتمد على كون الجهد (Voltage) على مدخله يحددمقدار تردد الإشارة على مخرجه. وتستخدم إشارة التضمين الثنائية كإشارة تحكم ، في حين أن إشارة المخرج هي عبارة عن إشارة (FSK)

3) ولإن إشارة التضمين تأخذ إحدى قيمتين (Vm(t) =± 1) ، فإن الـ(VCO) يولد أحد الترددين (F,Fs)

موجات (FSK):



الشكل (5-13) لإشارة (FSK)

حيث :

- Tm- زمن الدورة الأقصر (sec)
- Fm- الترددالأساسي الأقصى لإشارة التضمين ((Vm (t)) (HZ)
- Rb- معدل الخانات(bits)على المدخل (bit/sec) (Rb= 2Fm)
- Fm- ترددالعلامة (Mark Frequency)
- Fs- ترددالفراغ (Space Frequency)

معدل الخانات (bits) (Rb) **ومعدل البودات** (Baud rate) في تعديل (FSK) :

1) في تعديل (FSK) الثنائي هناك تغير في الترددعلى مخرج المضمن في كل مرة تتغير فيها الحالة المنطقية لإشارة المدخل الثنائية .

2) وبالتالي فإن معدل التغيرعلى المخرج يساوي معدل التغير على المدخل.

3) في التعديل الرقمي:

معدل الخانات (bit rate) أو (Rb) : ويعني معدل التغير على مدخل المضمن ويرمز إلى سرعة البيانات

المعدل البودي أو معدل الرمز (Baud rate or symbol rate) : ويعني معدل التغيرات على مخرج المضمن

4) وكما هو واضح من الشكل (5-9) فإن تغيرات المخرج من تردد العلامة (Fm) لترددالفراغ (Fs) وبالعكس هو نفس معدل تغيرات حالات المدخل من الواحد المنطقي إلى الصفر المنطقي .

Bit rate =Symbol rate (Baud rate)

أي أن Rb (bit/sec) = Rs (Symbol/sec) = Baud rate (baud)

نطاق الإمرار لتتعديل (FSK) : (FSK Bandwidth)

1)عرض نطاق الإمرار الأدنى (BT) لتعديل (FSK) يمكن أن نجده باستخدام قاعدة كارلسون المستخدمة في تعديل (FM)التماثلي حسب المعادلة (-115)

$$B_T = 2 (\Delta f + fm) \qquad (11\text{-}5)$$

حيث : (ΔF =Fm-Fs/2)

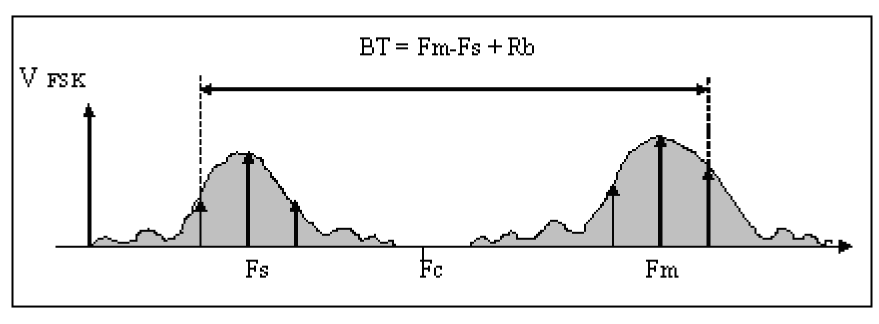
: مقدار الانحراف الترددي على كلا جانبي تردد الحامل في زمن الاستراحه (Fc) Fm = Rb/2

: التردد الأساسي الأقصى لإشارة التضمين الثنائية للحالة الأسوأ (أي موجة مربعة) الناتجة عن تعاقب الواحد والصفر

2) بتعويض قيم (ΔF وFm) في المعادلة (5-11) فنحصل على المعادلة (5-12)

$$B_T = 2 \ \Delta \ f + 2 \ fm = fm - f_S + R_b \qquad (12\text{-}5)$$

إيجاد (BT) باستخدام الطيف الترددي لإشارة (FSK)



الشكل (5-14) الطيف الترددي لاشارة (FSK)

الموجات الجيبية المنبضة (Pulsed sinusoidal waves) لها أطياف ترددية حسب الدالات (sin x/x) ولذلك نستطيع أن نعرض طيف إشارة (FSK) الخارجة كما في الشكل (5-12)

وفيه نرى أن التردد الأساسي (Fm) يكون الأعلى ومساوياً لنصف معدل الخانات (Rb) أي إن :

$$Rb = 2Fm$$

وإذا افترضنا أن إشارة التضمين الثنائية تحتوي على تتابع عشوائي للأصفار والآحاد أي ليست مربعة فإن الطيف الترددي في هذه الحالة لايحتوي على مركبات منفصلة كما في الشكل (5-14)بل يكون حسب الجزء المظلل في نفس الشكل .

مسألة 5-3:

إشارة (PCM) ثنائية من النوع (NRZ-L) ذات معدل تراسلي (200 K bit / sec) تضمن موجة حاملة لاسلكية في نظام (FSK) ، الترددان الراديويان متباعدان عن بعضهما بمقدار (150KHZ) .

أوجد عرض نطاق الإرسال

مبدأ العمل :

1- تمررالإشارة المستقبلة إلى اثنين من مرشحات الإمرار النطاقي أحدهما تم ضبطه على تردد (Fm) والآخر على تردد (Fs) .

2- عند إرسال الواحد المنطقي (Logic 1) فإن مخرج المرشح العلوي يكون عند القيمة القصوى بينما قيمة مخرج المرشح السفلي تكون ضئيلة وتنعكس النتائج على مخارج المرشحات عندما يتم إرسال الصفر المنطقي (Logic 0)

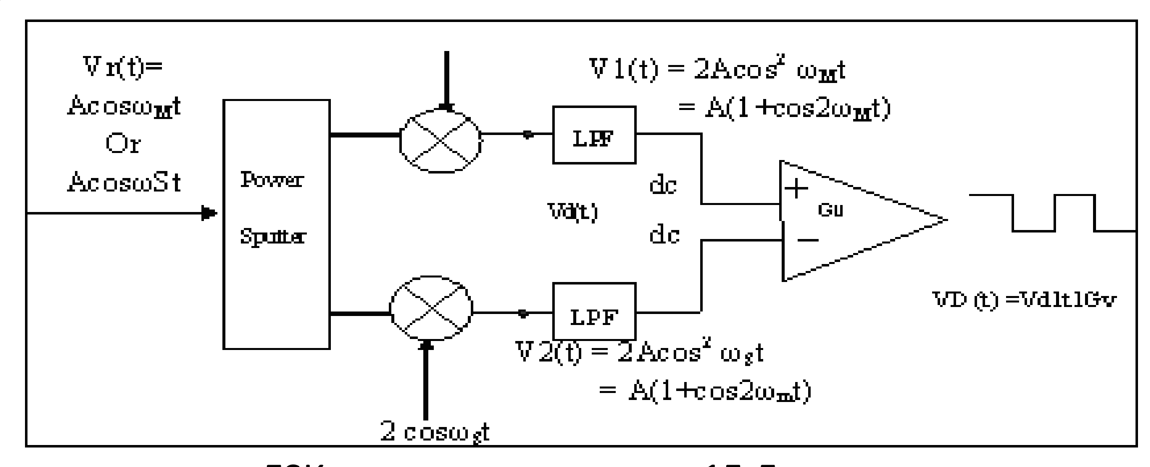
3- يقوم كاشف الغلاف في كل مسار بتحويل الإشارة الراديوية المنبضة (Pulsed RF Signal)إلى نبضات النطاق الأساسي للبيانات (base band)

4- أخيراً فإن النبضات من كلا المسارين تتحدللحصول على إشارة النطاق الأساسي للبيانات .

5- عادة ماتكون النبضات الناتجة قدتعرضت للتشوه إضافة إلى تأثير الضوضاء عليها ولذلك فإنه يجب تمريرها عبردائرة استعادة الشكل الثنائي (Binary restoration) وهي عبارة عن دائرة مقارنة .

ب) الكشف الترابطي لتعديل FSK

FSK Coherent detection



الشكل (5-15) الكشف الترابطي لإشارة (FSK)

مبدأ العمل :

1. في هذا النظام يجب توليد الموجات الحاملة محلياً بحيث يكون لها نفس الطور والتردد كتلك التي تم ضغطها في المرسل وفيما عدا ذلك سيتكون تشوه للإشارة يسمى اللا توافق الترددي والطوري يؤدي إلى خفوت الإشارة في حالة

اللا توافق الطوري أو صعودها وهبوطها باستمرار في حالة اللا توافق الترددي.

- نفترض أن الواحد المنطقي (Logic 1) هو المرسل عندها تكون الإشارة المستقبلة :

$$Vr(t) = A\cos wm(t) \qquad (13\text{-}5)$$

- على مخرج المضمن المتزن للذراع العلوي نحصل على :

$$Vc(t) = 2A\cos(2)\, wmt = A(1+\cos 2wmt) \qquad (14\text{-}5)$$

2. الحدالأخير من الجهة اليمنى للمعادلة (5-14) يمكن إزالته بواسطة مرشح الإمرار المنخفض فنحصل على المدخل الموجب لمكبرالفرق (.differential amp)على إشارة تيار ثابت موجبة في حين أن الفولتية على المدخل السالب لها تكون صفراً والمحصلة تكون إشارة ثابتة موجبة على مخرجة حسب المعادلة (5-15) :

$$Vo(t) = Gv \quad Vd(t) = A*Gv = \quad \text{positive constant} \qquad (15\text{-}5)$$

أي بكلمات أخرى القيمة على المخرج معادلة لقيمة الواحد المنطقي (Logic 1)

3. خطوات مماثلة تحدث على المسار السفلي في حالة إرسال الصفرالمنطقي (Logic 0) وتكون النتيجة فولتية ثابتة ذات إشارة سالبة .

الأداء (Performance) :

ا) الكشف الترابطي :

$$BER = PB = \tfrac{1}{2}\,\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{Eb}{2No}}\right) = \tfrac{1}{2}\,\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{PcTb}{2No}}\right) = \tfrac{1}{2}\,\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{A^2Tb}{4No}}\right) \qquad (3\text{-}16)$$

$$E_b = P_C\,T_b$$

$$P_C = \frac{A2}{2}$$

$$No = \frac{P_N}{B_T}$$

حيث إن :

(Eb) الطاقة لكل خانة

(Pc) طاقة الموجة الحاملة

(No) الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء

ب) الكشف اللاترابطي

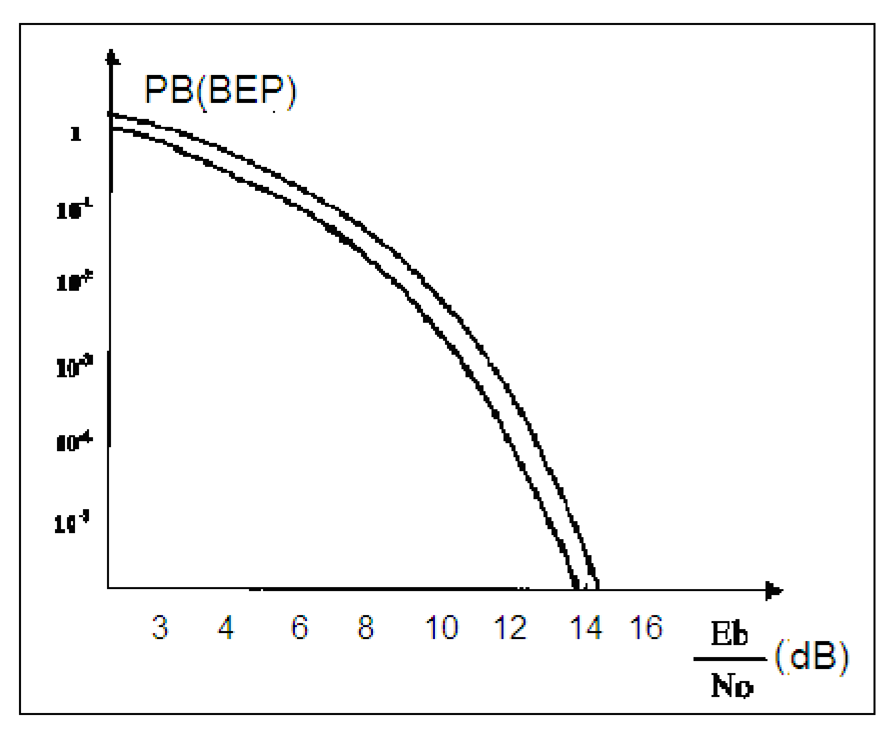
$$BER = PB = \tfrac{1}{2}\exp\left(\frac{-E_b}{2N_O}\right) = \tfrac{1}{2}\,\text{erfc}\left(\frac{A^2Tb}{2No}\right) \qquad (5\text{-}17)$$

بالمقارنة بين أداء الكشف الترابطي واللاترابطي

يمكن إيجاد احتمالات الخطأ في الخانات (bits) لكلتا الطريقتين باستخدام المنحنيات كما في الشكل

(16-5) حيث تعتمد احتمالية الخطأ (PB) على مخرج الكاشف على نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند مدخل المستقبل

$$PB = F\left(\frac{-E_b}{2N_O}\right) = F(C/N)$$



الشكل (16-5) مقارنة الأداء في كشف أنظمة (FSK)

مسألة 5-4: لكلتي

أوجد (BER) لكلا الحالتين : الكشف الترابطي واللا ترابطي عند استخدامها من قبل نظام (FSK) حيث إن فترة الخانة (bit) هي (2sec) وسعة الإشارة (0.4 V) والترددات المستخدمة هي:(1KHZ,2KHZ)

الضوضاء المضافة ذات كثافة قدرة تساوي (10(-12) w/HZ)

استخدم المنحنيات التي في الشكل (13-5) ومن ثم الحسابات لإيجاد (BER)

4-5 تعديل إزاحة الطور
Phase Shift Keying (PSK)

هذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الاتصالات الرقمية (حيث إن طورالموجة الحاملة يتغير حسب إشارة المدخل الثنائية) وهذا يعود إلى الأسباب التالية :

- صغر عرض النطاق كما هو في أنظمة (ASK).
- يتمتع هذا النظام بجودة عالية كما هو في أنظمة (FSK) لابل أفضل منها .

أنواع تعديل الإزاحة الطورية مفتاحياً :

1) PSK ثنائية الحالة أوذات الطورين وتسمى تعديل إزاحة الطورالثنائي مفتاحياً(Binary PSK)
وهي تقنية تضمين رقمية حيث طورالموجة الحاملة يأخذ إحدى قيمتين محتملتين)
2) PSK التعامدية ذات الحالات الأربع وتسمى تعديل إزاحة الطورالتعامدي مفتاحياً Quadrature (PSK)
وهي تقنية تضمين رقمية حيث يأخذ طور الموجة الحاملة أحد أربع قيم محتملة).
3)PSK متعددة المستويات وتسمى (PSK الميمية) (µ-PSK)
(عندما يأخذ طور الموجة الحاملة قيمة معينة من ضمن (M) من القيم المحتملة (الرموزالمحتملة) وهذا يعتمدعلى إشارة النطاق الأساسي الثنائية .

رياضياً :

$$N_b = Log_2 \text{ M} \Rightarrow \text{M} = 2^{N_b} \qquad (18\text{-}5)$$

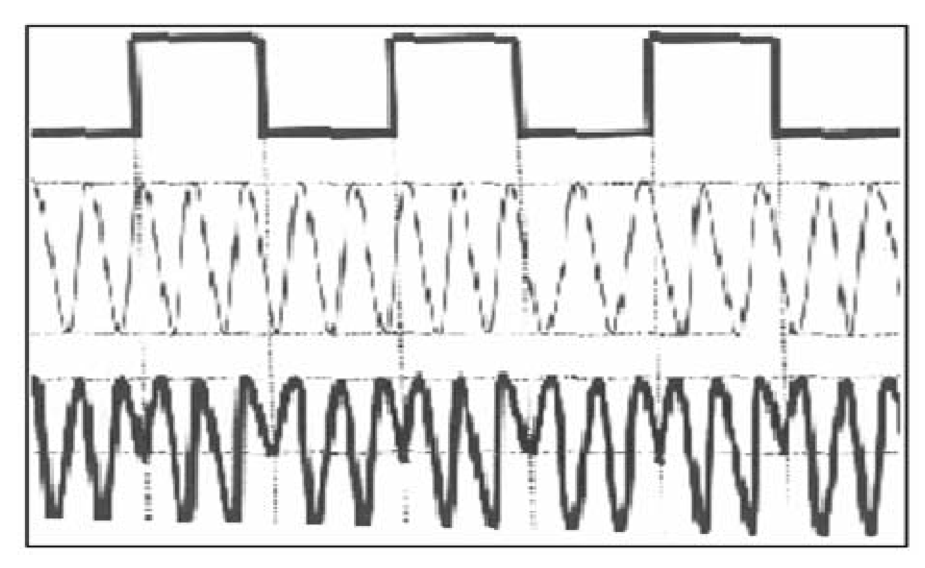
حيث إن :

Nb- عددالخانات لكل رمز (طور)

M- عددالحالات الممكنة (الأطوارالمختلفة)

مسألة **5-5** :
لـ نظام (PSK) M= 2. احسب في حال كل من الأطوار ذات خانة وخانتين و ثلاث خانات.

تعديل إزاحة الطور الثنائي (Binary PSK)



شكل (5-17) تعديل إزاحة الطور الثنائي (BPSK)

1- سيل الخانات ثنائية القطبية على مدخل المضمن U (t) إشارة (PCM) تحدد قيمة الطور للحامل ليكون إما (°90 او°90-) .

2- فإذا اعتبرنا(Ui) هو الخانة رقم (i) عندها يكون الحامل المرسل (أي الإشارة المضمنة) حسب المعادلة :

$$U_{BPSK} = V \cos(wct - U_i \pi / 2) \quad (19\text{-}5)$$

حيث إن :

V- سعة الحامل (volts)

Ui- إشارة النطاق الأساسي

Ui ={+1 for logic (1)
{-1 for logic (0)

نستنتج من المعادلة (5-19) مايلي :

- logic (1) يرسل ضمنياً بجعل الطور مساوياً لـ($\pi / 2$)-
- logic (0) يرسل ضمنياً بجعل الطور مساوياً لـ($\pi / 2$)+

3- وباستخدام العلاقات المثلثية يمكن كتابة المعادلة (5-19) بالشكل التالي :

$$U_{BPSK} = V\cos(wct - Ui\pi/2)$$

$$= V\left\{\cos\omega ct\underbrace{\cos Ui\pi/2}_{=zero} + \sin\omega ct\underbrace{\sin U_i\pi/2}_{=1 or -1}\right\}$$

$$= V\left\{\sin\omega ct \text{ x } \underbrace{U_i}_{=1 or -1}\right\}$$

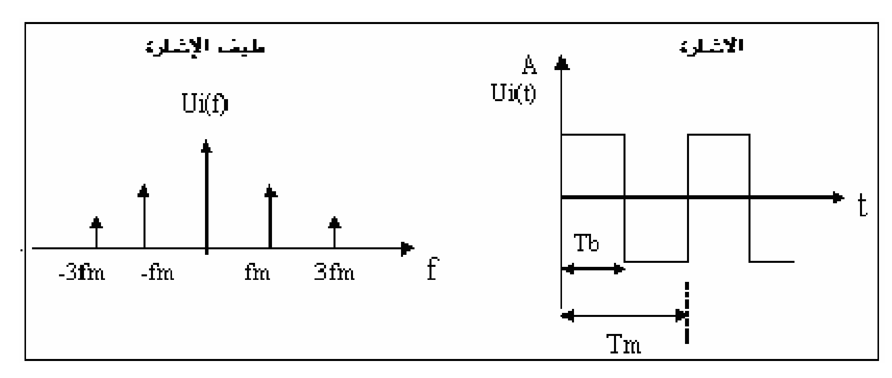
$$\therefore \quad U_{BPSK} = VUi\,Sin\,\omega ct$$

$$= \begin{cases} -\sin\omega ct & \text{when } U_i = -1 \\ \sin\omega ct & \text{when } U_i = 1 \\ \text{assuming that} & V = L \end{cases}$$

(20-5)

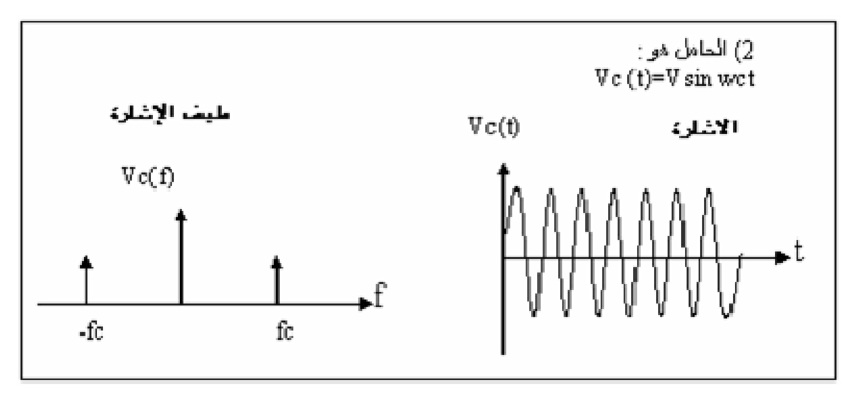
حساب عرض النطاق في أنظمة (BPSK) :

1) في حالة التعديل (BPSK) يمكن الحصول على أعرض نطاق ترددي عندما تكون إشارة البيانات الثنائية متتالية ناتجة عن تتابع (1 و0)



الشكل (5-18) إشارة التضمين في نظام (BPSK)

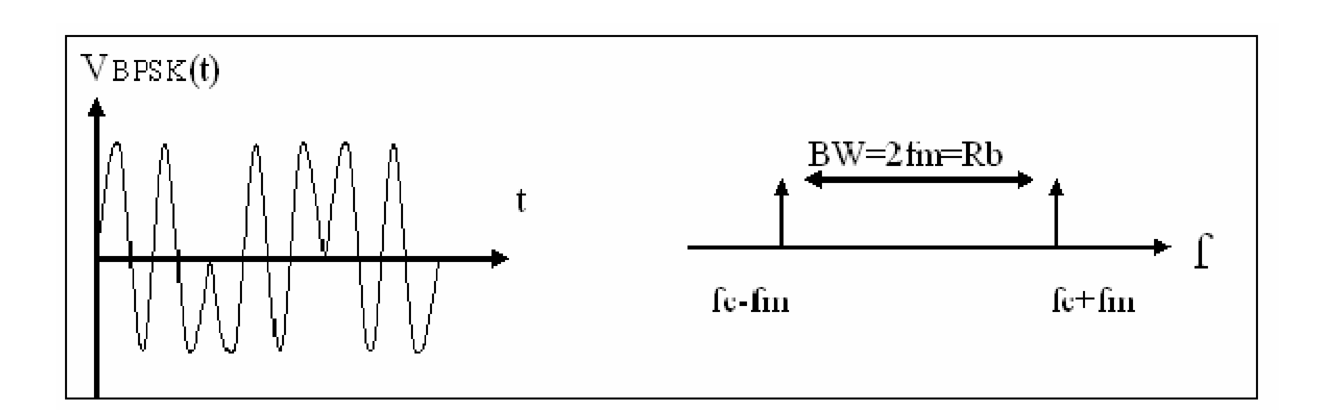
2) الحامل هو :
Vc (t)=Vsin wct



الشكل (5-19) إشارة الحامل في نظام (BPSK)

3)إشارة V BPSK(t):

هي حاصل ضرب إشارتي المدخل



شكل (5-20) الإشارة المضمنة (VBPSK)

4) فإذا افترضنا أنه من الكفاية أن نرسل فقط التردد الأساسي لإشارة التضمين (عبارة عن إشارة مربعة) فإن:

fct πFmt*sin2 πV BPSK(t) = sin 2

= 1/2[cos 2 π (fc-fm)- 1/2 cos2 π (fc+fm)t]

وهذا يعني أن عرض النطاق :

$$B= (fc+fm) – (fc+fm)=2fm=Rb$$

إذاً : $BT = Rb$

(وهذا هو الحد الأدنى لعرض النطاق)

ويمكننا ايضاً استخدام قاعدة كارسون حيث :

$$B= 2(\Delta f+fm)=2fm+2\Delta f$$

ولكن : $2\Delta f=0$

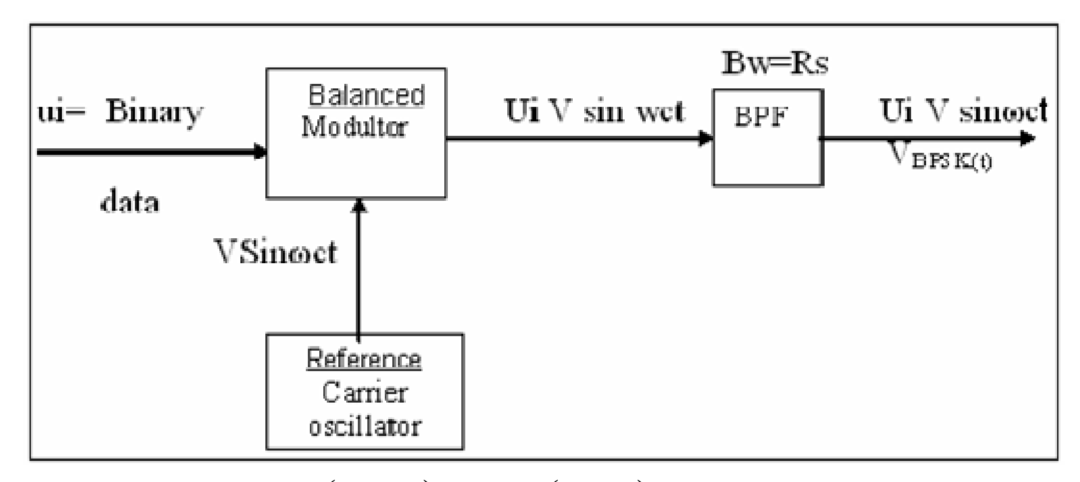
لأن التردد ثابت إذاً :

$$B= 2fm = Rb$$

المضمن والكاشف في أنظمة (BPSK)

أ) مضمن (BPSK)

دائرة المضمن موضحة في الشكل (5-21) وهي تشبه دائرة المضمن في نظام (OOK) باستثناء أن إشارة المدخل هنا ثنائية القطبية أما في مضمن (OOK) فكانت أحادية القطبية .

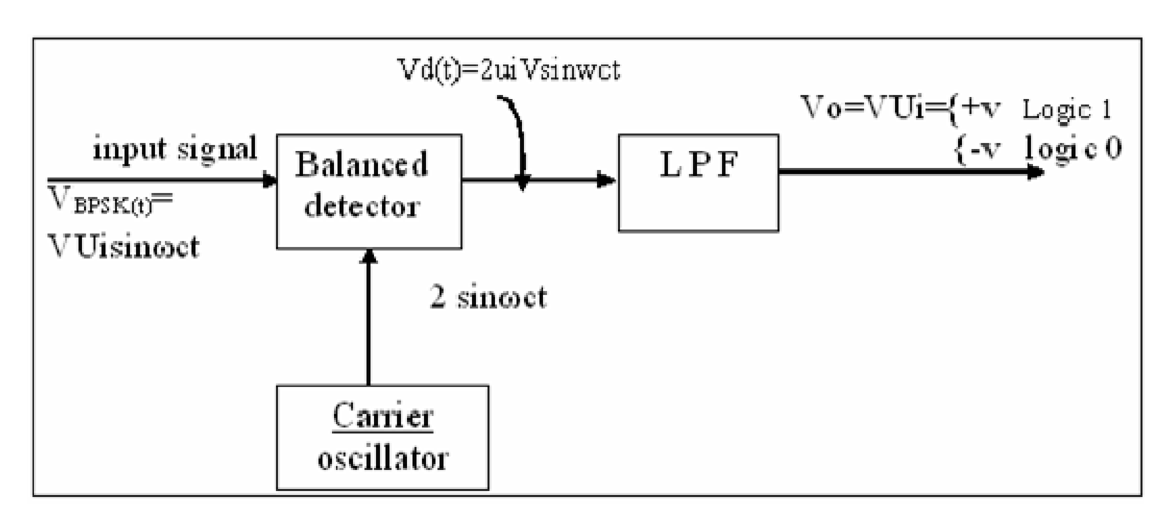


الشكل (5-21) مضمن (BPSK)

ب) كاشف (BPSK)

حتى نستطيع استرجاع الإشارة الأصلية (Ui) فإن المستقبل عليه مقارنة طور الإشارة المستقبلة مع طورالإشارة التي تم توليدها في المستقبل والتي لها نفس طور الموجة الحاملة بدون تضمين باستخدام

الكاشف المتزن (balanced modulator) ناهيك عن أن الترددات يجب أن تكون متساوية وهي نفس فكرة الكاشف الترابطي التي شرحت سابقاً .



الشكل (22-5) كاشف إشارة (BPSK)

- الكاشف الترابطي رياضيا :
- الإشارة على مخرج الكاشف المتزن

$$Vd = VU_i \sin \omega ct \times 2 \sin \omega ct$$

$$= 2\, VUi \sin^2 \omega ct = 2VU_i \times \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega ct)$$

$$= VUi - \underbrace{VU_i \cos 2\omega ct}_{\text{will be filtered by a L.P.F}}$$

الجزء الثاني في المعادلة الأخيرة ستتم إزالته بواسطة المرشح(LPF) وتكون الإشارة على مخرج المرشح:

$$\therefore \quad V_0 = VU_i = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases} \qquad \text{assuming} \quad V = 1$$

- هذه التقنية تسمى الكشف التوافقي كونها تتطلب فولتية
- مرجعية تولد في المستقبل وتوافقه من حيث الطور والتردد مع الحامل المولد في المرسل.

الأداء (Performance)

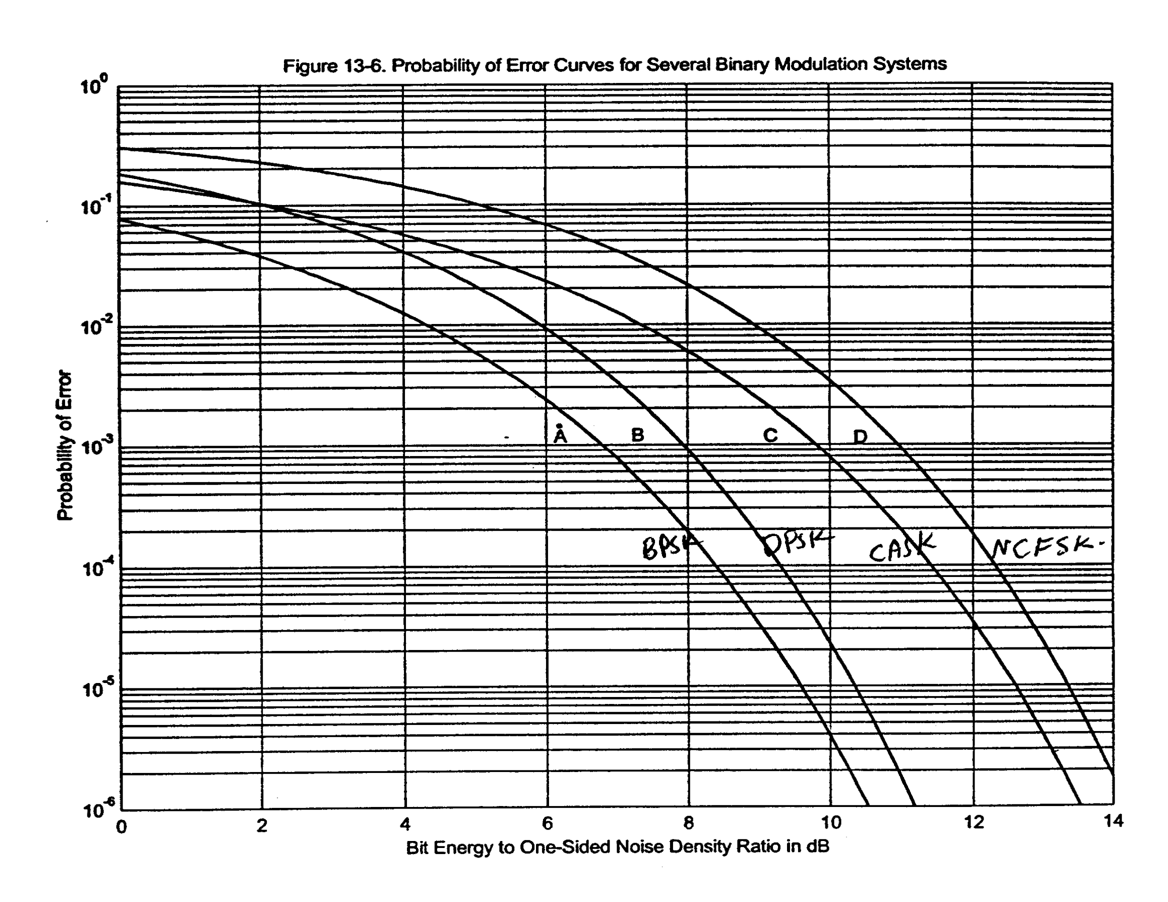
$$PB = PE = 1/2 \text{ erfc } (\sqrt{EB/NO})$$

$$= 1/2 \text{ erfc } (\sqrt{c*Tb/No})$$

(21-5)

$$= 1/2 \text{ erfc } (\sqrt{v^2Tb/2No})$$

- يمكن استخدام المنحنيات التي تبين علاقة (PB مع Eb/No) لإيجاد (BER) كما هو موضح في الشكل (5 - 23)



الشكل 5-23 : منحنيات احتمالات الأخطاء لبعض نظم التضمين

تعديل إزاحة الطور التعامدي (QPSK)
Quadrature phase shift keying

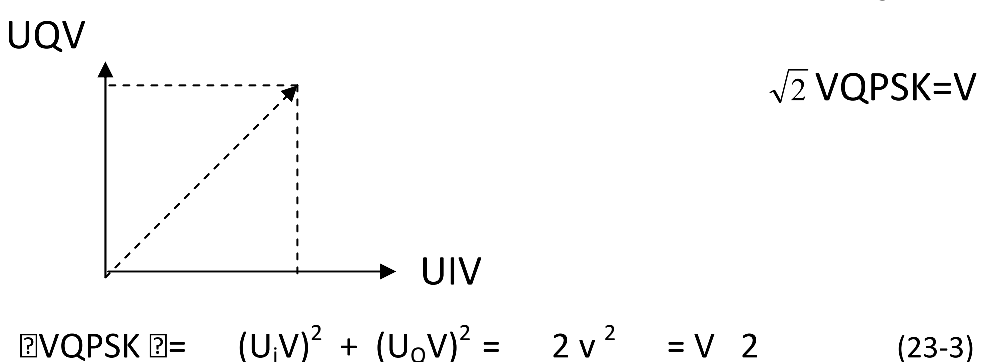
1) في تتعديل (QPSK) بواسطة المضمن يتم إعطاء طورالحامل أحد أربع قيم محتملة حسب إشارة التضمين الثنائية على مدخله .

2) يمكن توليد موجة (QPSK) عن طريق جمع موجتي (BPSK) بشكل متعامد والذي يمكن كتابته رياضياً بالشكل التالي :

$$VQPSK = U_iV\cos\omega ct + U_QV\sin\omega ct \qquad (22\text{-}5)$$

حيث إن :

- الحد الأول يمثل إشارة (BPSK) متوافقة بطورها مع الحامل وتسمى بالقنال(I)
- الحد الثاني هو أيضاً إشارة (BPSK) ولكنها متعامدة بطورها مع الحامل وتسمى بالقنال (Q)
- اتساع موجة الإشارة (V QPSK) يمكن إيجادها بواسطة مخطط المتجهات التالي :



$$|VQPSK| = \sqrt{(U_iV)^2 + (U_QV)^2} = \sqrt{2v^2} = V\sqrt{2} \qquad (23\text{-}3)$$

3) لوقمنا بقسمة المعادلة (5-46) على المعادلة (5-47) لحصلنا على :

$$\frac{VQPSK}{|VQPSK|} = \frac{\sqrt{UIV}}{V\sqrt{2}}\cos\omega ct + \frac{\sqrt{UQV}}{U\sqrt{2}}\sin\omega ct$$

$$= \cos\Phi\cos wet + \sin\Phi\sin wet = \cos(\omega_c t - \Phi)$$

وأخيراً :

$$VQPSK = V\sqrt{2}\cos(\omega ct - \Phi)$$

حيث إن :

Φ - طورالحامل المرسل بعدالتتديل

$$\Phi = \tan^{-1} \frac{UQ}{UI}$$

(24-5)

Φ تأخذالقيم التالية (π / 4 , 3π / 4 , 5π / 4 , 7π / 4)

حسب الجدول التالي (5-1) الذي يبين العلاقة بين سيل الخانات المستخدمة في التعديل (UI,UQ) والزاوية الطورية (**Φ**) لموجة (QPSK) المضمن

.

VQPSK (eq. 72)	VQPSK (eq. 74)	Phasor	Transmitted bite	
			UI	UQ
Vcosωct+vsinωct	$v\sqrt{2}$ cos(ωct- π /4)	Φ=45	1	1
-vcosωct+vsinωct	$v\sqrt{2}$ cos(ωct-3 π /4)	Φ=135	-1	1
-vcosωct-vsinωct	$v\sqrt{2}$ cos(ωct-5 π /4)	Φ=225	-1	-1
-vcosωct-vsinωct	$v\sqrt{2}$ cos(ωct-7 π /4)	Φ=315	1	-1

جدول (5-1)

خصائص تعديل إزاحة الطور :

أ) معدل الرموز (Rs) على مخرج مضمن (PSK) يمكن إيجاده حسب المعادلة التالية :

$$Rs = \frac{R_b}{N} \text{ symbols/s}$$

حيث إن :

Rb- معدل البيانات أومعدل الخانات

N- عددالخانات لكل رمز

ب)العددالكلي للرموزالمحتملة على مخرج المضمن

$$M = 2^N \quad \text{symbols}$$

ج) الفرق الطوري بين الرموز المتجاوره

$$P = \frac{360}{M} = \frac{2\pi}{M} \text{ rad}$$

د) معدل الخانات الأقصى على مدخل المضمن

$$C = B \log_2 M$$

حيث إن :

B- عرض النطاق للإشارة التماثلية

نسبة الإشارة إلى الضوضاء على مخرج المستقبل (S/N) :

(عنداستخلاص تضمين (PCM))

1) الجودة أو الأداء في الأنظمة الرقمية على مخرج المستقبل يمكن تحديدها بطريقتين :

أ) معدل الخطأ في الخانات (BER) :

وهو الخطأ في الخانات الناتج عن الضوضاء الحرارية (Thermal noise) وهذا تم شرحه سابقاً ونحصل عليه على مخرج المضمن المفتاحي .

ب) نسبة الإشارة إلى الضوضاء (S/N) :

ونحصل عليه على مخرج كاشف (PCM)

ويعتمد على عاملين هما :

- الضجيج الحراري : ويتم قياس أثره بواسطة (BER)
- ضوضاء التكمية (Quantization noise):

وسبق أن تم شرحها ويتم قياس أثرها حسب المعادلة:

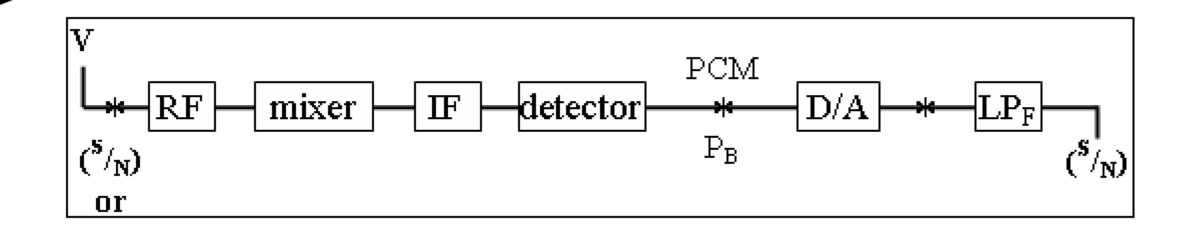
$$({}^{S}/N)_{Q} = 2^{2N} = M^{2}$$

حيث إن :

M- عدد مستويات التكمية .

N- عدد الخانات في الكلمة المشفرة.

2)المخطط الوظائفي للمستقبل التالي يبين النقاط التي يتم فيها تحديد معاملات قياس الأداء ASK,FSK,PSK



حيث تمثل $\frac{E_b}{No}$ نسبة الإشارة الخارجة إلى الضوضاء على مخرج كاشف تضمين (PCM) يمكن إيجادها بواسطة المعادلة التالية :

$$\left(S/N_{output} \right) = \frac{M^2}{1+4M^2P_B} = \frac{2^{2N}}{1+4\times 2^{2N}P_B}$$

مسألة 6-5 :

في نظام اتصالات رقمية ثنائي قدرة الحامل المستقبلة على مخرج الهوائي هي .200fw ($200x10^{-15}$W)

درجة ضوضاء الهوائي المكافئة هي(300K) ودرجة ضوضاء المستقبل الفاعلة مقاسة عند مدخله هي(425K) .حدد نسبة الإشارة الخارجة إلى الضوضاء في حالة إرسال إشارة (PCM) بكلمات مشفرة مكونة من ست خانات بمعدل بيانات (معدل خانات bit) هو (2Mbit/sec) للحالات التالية :

أ)كشف ترابطي (PSK)

ب) كشف ترابطي (ASK)

ج) كشف الغلاف اللا ترابطي (ASK)

د) كشف ترابطي (QPSK)

أساسيات الاتصالات الرقمية

تشفير المصدر

الوحدة السادسة : تشفير المصدر

Source Coding (SC)

الجدارة: يعتبر تشفير المصدر من أهم العمليات التي تجرى على المعلومات المتوفرة في المصدر نفسه وذلك بهدف إعطاء هذه المعلومات الخصائص التي تفيد المستعمل عامة وخاصة تلك التي تتعلق بحجم المعلومات وأمنها ،

سنتعرف في هذه الوحدة على الأسس النظرية وتشمل:

- الإرسال المتزامن وغير المتزامن (Synchronous and asynchronous transmission)
- أنواع التشفير المستعملة في الحاسوب (Coding Methods used in computer)

كما نعرض ثلاث طرق شهيرة لتشفير المصدر وهي:

- تشفير هوفمان (Huffman Coding)
- تشفير هامنغ (Hoffman Coding)
- تشفير كراي (Cray Coding)

الأهداف: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪ بإذن الله .

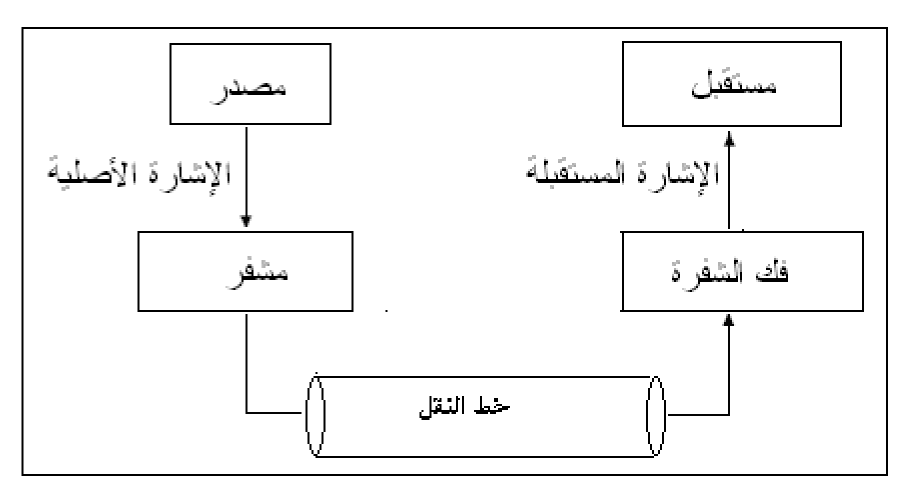
الوقت المتوقع: 9 ساعات

الوسائل المساعدة: معمل أساسيات الاتصالات الرقمية

متطلبات الجدارة: أن يكون المتدرب قد اجتاز مقرر الدوائر الكهربائية ودروس الوحدات السابقة من هذه الحقيبة.

6 – 1 أساسيات نظرية لتشفير المصدر

يحتوي نظام الاتصال الرقمي كما نرى في الشكل الموالي 6- 1 أساسا على المصدر والمستقبل وخط النقل، كما يحتوي على مشفر وفك الشفرة.

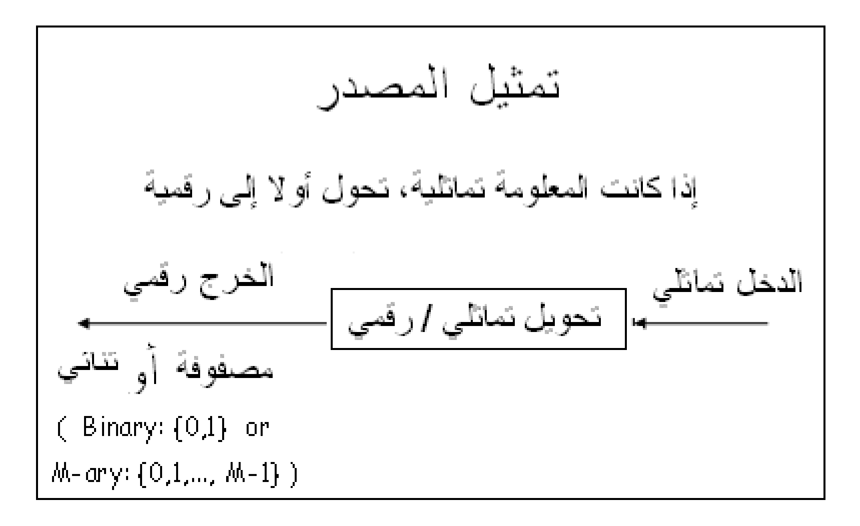


الشكل الموالي 6- 1 نظام الاتصال الرقمي يحتوي على المصدر والمستقبل وخط النقل

وقد رأينا في الوحدة الرابعة طرق تشفير القناة وأهدافها وأهميتها بالنسبة لنقل البيانات. وفي هذه الوحدة نتطرق إلى طرق تشفير المصدر.

6 - 1 - 1 معنى تشفير المصدر

يعني تشفير المصدر هو تحويل البيانات إلى شكل أكثر ملاءمة تماشياً مع العمليات التي يجريها عليها المستعمل من تخزين ومعالجة ونقل وما إلى ذلك، ويفترض هنا أن المعلومات (البيانات) متوفرة في شكل رقمي، لذلك، إذا كانت المعلومات لا تزال تماثلية فلا بد من تحويلها أولاً باتباع الطرق التي درسناها في الوحدة الأولى والمتعلقة بالتحويل التماثلي الرقمي،
وللتذكير فإنه يجب احترام قواعد الترقيم وخاصة مبرهنة أخذ العينات (Shannon Theorem)،
وبذلك نصل في مرحلة أولى إلى تمثيل البيانات المتوفرة في المصدر (Source Representation)
بواسطة النظم الرقمية التي تعرضنا لها عندما درسنا تشفير القناة في الوحدة الثانية من هذه الحقيبة،
وهذه النظم هي النظام الثنائي (Binary) والنظام المتعدد المستويات (M-Array) ، انظر الشكل التالي



الشكل 6 - 2 تمثيل المصدر رقميا يعطي البيانات (Data)

فعلى سبيل المثال تؤخذ العينات الصوتية والموسيقية في حالة التسجيل على الأقراص الرقمية بتردد قدرة 441 أي 441000 عينة في الثانية وب 16 بت أي 16 مستوى ضماناً لجودة سمعية مقبولة عند المستمع العادي،

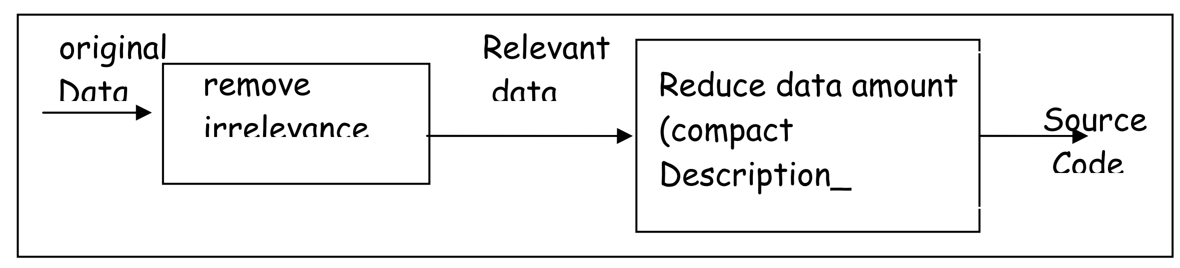
ويعتمد تشفير المصدر على أحد المبدأين وهما :

- تقليل البيانات (Data Reduction)
- ضغط البيانات (Data Compression)

أما تقليل البيانات فيهدف إلى إزالة البيانات غير الهامة مثل البيانات غير المفيدة والتي تنتج عنها أخطاء (data reduction:: remove irrelevant data (lossy, gives errors))،

وأما ضغط البيانات فيهدف إلى تقديم البيانات بشكل مختصر مع المحافظة على المعلومة التي يحتاجها المستعمل (data compression: present data in compact (short) way (lossless))،

ويبين الشكل التالي طريقة تشفير القناة باستعمال المبدأين المذكورين أعلاه، إلا إننا قد لا نضطر لاستعمالهما في آن واحد في بعض التطبيقات التي لا تحتوي مثلاً على بيانات غير مرغوب فيها (irrelevant data)،



الشكل 6 - 3: مبدآ تشفير المصدر

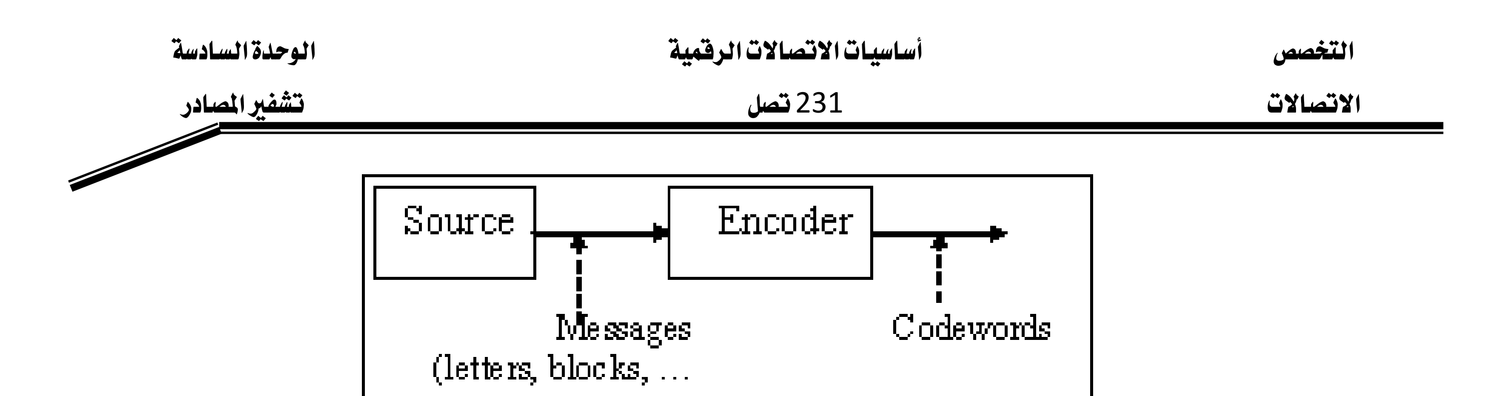
6 – 1 – 3 خاصيات تشفير المصدر (Some characteristics in Source Coding)

تعتمد تقنيات تشفير المصدر على أسس نظرية مهمة نقدمها بشكل مقتضب فيما يلي، وتعتبر المعادلات التي سنعرضها من أهم الأدوات التي تعتمد في حساب مختلف خاصيات المعلومات والتي تعين المستعمل في تخزينها ونقلها على حد سواء .

تقسم مصادر المعلومات إلى صنفين هما : مصادر بدون ذاكرة ومصادر ذات ذاكرة، وتعتبر المصادر التي ليست لها ذاكرة أبسط بكثير من حيث التحليل الرياضي ولذلك تعتمد غالباً في مرحلة أولى من الدراسة ولذلك نركز عليها في هذه الحقيبة التي تعنى أساساً بتقديم الأساسيات، أما المصادر ذات الذاكرة فهي عادة موضوع دراسات أكثر تعمقاً،

في تشفير المصدر يتم إسناد كلمات شفرة لمجموعة من العناصر ويتم أخذ الشفرات من جدول من العبارات المتفق عليها. وتسمى هذه المجموعة شفرة..

الشفرة نفسها هي مجموعة من الكلمات المسماة كلمات شفرة. إذا كانت كل الكلمات مكونة من نفس العدد من الرموز (نفس الطول) تسمى الشفرة متناسقة (uniform) وفي الحالة الأخرى تسمى الشفرة غير متناسقة (nonuniform) وتتكون في هذه الحال من كلمات ذات طول متغير (variable length, run length)، نرى في الشكل الموالي مبدأ تشفير المصدر حيث ينتج المصدر (Source) مجموعة من المعلومات المسماة رسائل (Messages) ويقوم المشفر(Encoder or Coder) بإسناد كلمة شفرة لكل من هذه المعلومات،



الشكل ٦- ٦ مبدأ تشفير المصدر

ومما تجدر الإشارة إليه أن الشفرة يجب أن تكون قابلة للفك بشكل لا يدع مجالاً للخطأ (uniquely decodable code) كما يبين ذلك المثال التالي:

دعنا نتأمل أولاً شفرة يمكن قراءتها بطرق مختلفة (not uniquely decodable code) لأربع كلمات هي x1, x2, x3, x4 . لنفرض أن الشفرة المستعملة تتكون من كلمات تسند فيها كلمات الشفرة كالآتي

Word	Codeword
X1	0
X2	01
X3	11
X4	111

من الواضح أن سلسلة أرقام مثل 00111111 يمكن قراءتها بطرق مختلفة مثل:

x1, x2, x3, x4,

أو x1, x2, x4, x3,

أو x1, x1, x4, x4,

أو x1, x1, x3, x3, x3.

أما الآن فلنفرض أن الشفرة المستعملة تتكون من كلمات تسند فيها كلمات الشفرة كالآتي

Word	Codeword
X1	0
X2	10
X3	110
X4	111

من الواضح أن سلسلة أرقام مثل 0011010111110 لا يمكن قراءتها إلا بطريقة واحدة هي:

x1, x1, x3, x2, x4, x3

هذا ويلعب طول كلمة الشفرة دوراً محورياً في التشفير لما له من علاقة بديهية بحجم البيانات التي نحصل عليها عند التشفير، وينعكس حجم البيانات على تكلفة التخزين والمعالجة والإرسال، وتستعمل الخاصيات التالية في وصف الشفرة والحكم عليها:

- متوسط طول كلمة الشفرة
- Source entropy

يتم عادة حساب الطول المرتقب لكلمة الشفرة باعتبار قيم احتمال العناصر وطول الشفرات المخصصة لكل واحدة بواسطة المعادلة:

$$L = \sum_{i=1}^{N} l_i \quad p_i$$

حيث إن : L هو الطول المرتقب (الوسط، المعدل) لكلمة الشفرة
(expected length or average length)

l_i هو طول كل كلمة x_i

p_i قيمة احتمال كل كلمة x_i،

أما الآن فدعنا نتأمل أمثلة لطرق التشفير المستعملة ونعطي أمثلة تطبيقية لها، وهذه الطرق هي شفرة هوفمان وشفرة هامنغ وشفرة كراي

6 – 2 الإرسال المتزامن وغير المتزامن

6 – 2 – 1 الإرسال **المتزامن**: (Synchronous transmission)

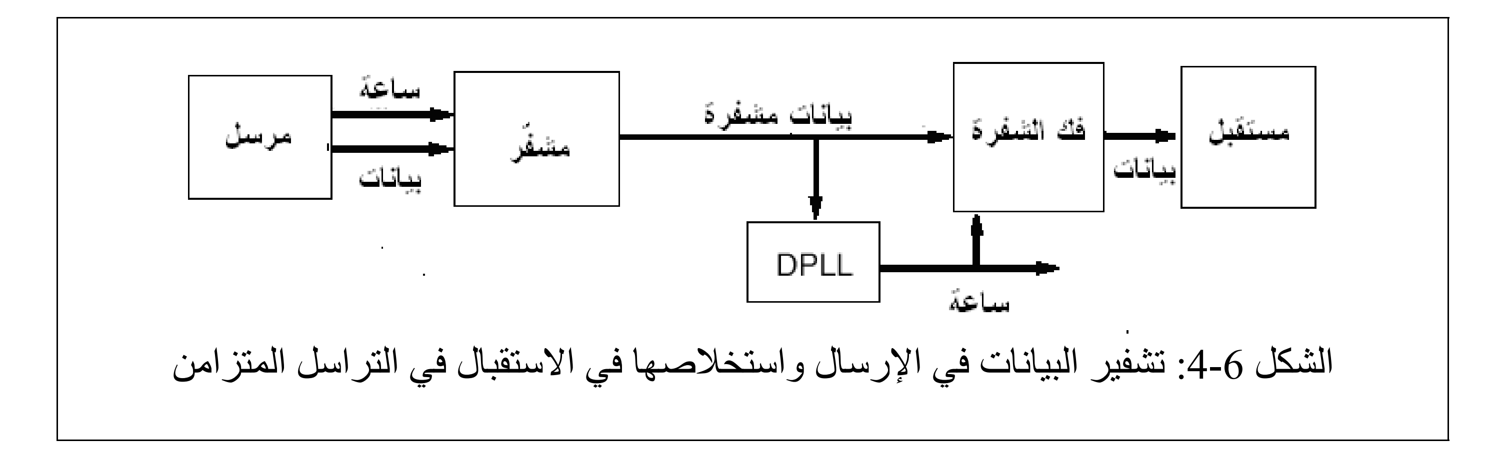
إرسال رقمي تساوي فيه المدة الفاصلة بين أي نقطتين هامتين في سلسلة البتات المنقولة عدداً كاملاً من المدة المعتمدة كوحدة زمنية.

يستعمل المستقبل في التراسل المتزامن ساعة متزامنة مع الساعة المستعملة عند المرسل. يتم إرسال إشارة التزامن (clock) بإحدى الطريقتين الآتيتين:

- عبر دائرة خاصة منفصلة عن دائرة التراسل، كما هو الحال مثلاً في الشبكة إكس25 (X.25)
- أو تكون مدمجة في سلسلة البيانات، كما هو الحال مثلاً في شفرة مانشستر وتكون إشارة التزامن بذلك ضمن البيانات المرسلة .

نرى في الشكل التالي طريقة إشارة التزامن المدمجة داخل البيانات(encoded clock). في الإرسال (Transmitter) يتم إدخال البيانات وإشارة التزامن بالتوازي للمشفر (Encoder). يدمج المشفر الإشارتين قبل إرسالهما عبر القناة. في الاستقبال (Receiver) يتم فصل إشارة التزامن عن البيانات

بواسطة دائرة رقمية لتثبيت الطور (Digital Phase Locked Loop: DPLL) وذلك قبل إدخال البيانات لمفكك الشفرة (Decoder) الذي يستخلص البيانات الأصلية.



الشكل 6-4: تشفير البيانات في الإرسال واستخلاصها في الاستقبال في التراسل المتزامن

للتراسل المتزامن الإيجابيات التالية:

- وجود معلومة وثيقة (accurate information) لجعل الاستقبال متماشياً تماماً مع الإرسال
- تحقيق معدلات إرسال عالية
- إمكانية مراقبة الساعة عند الاستقبال قصد تصحيحها إذا قلت دقتها بسبب العوامل الخارجية

للتراسل المتزامن السلبيات التالية:

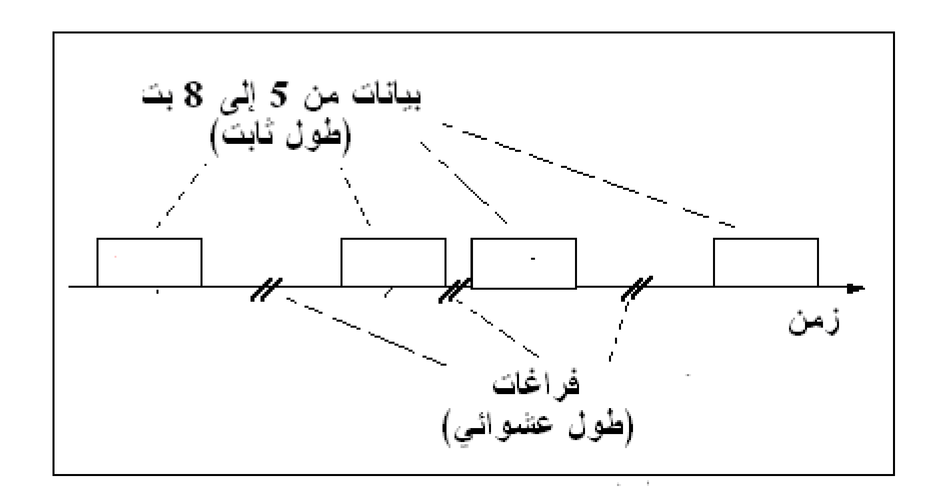
- وجود دوائر معقدة التصميم في النظام
- احتمال وجوب ضبط العوامل بالنسبة لهذه الدوائر

6- 2- 2 التراسل غير المتزامن: (Asynchronous transmission)

التراسل غير المتزامن هو إرسال تكون فيه نقطة بداية الحرف (character) أو مجموعة الحروف (block of characters) المنقولة عشوائية، ولكن بعد نقطة الانطلاق تكون لكل بت علاقة ثابتة بالنسبة للإطار الزمني الجملي للمجموعة (يمثل كل بت إشارة معينة ضمن مجموعة الإشارات المنقولة، كما نرى ذلك في التجميع بالتقسيم الزمني مثلاً).

لعل أهم خاصية بالنسبة للتراسل غير المتزامن هو أن ساعة المرسل مستقلة عن ساعة المستقبل، حيث إنه لا حاجة لذلك نظراً إلى أن كل حرف أو مجموعة حروف يمكن أن تبدأ في أي نقطة زمنية، والمستقبل

يكتشف نقط البداية دون الحاجة لأي إشارة مرجعية. وتكون الفراغات الزمنية بين الوحدات المرسلة غير محددة الطول كما نرى في الشكل التالي

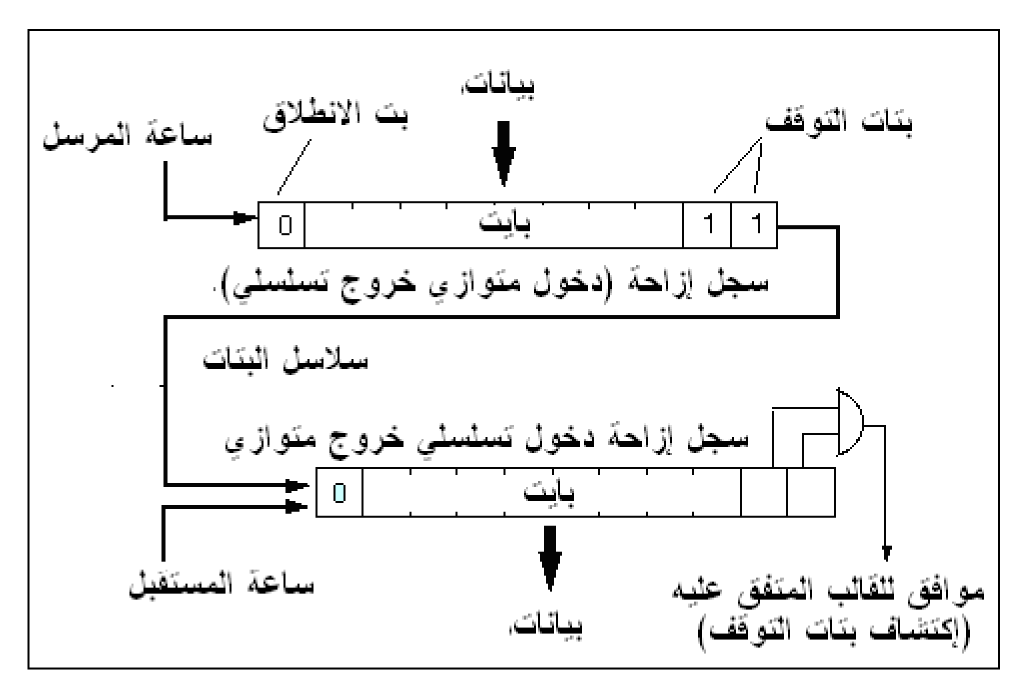


الشكل6- 5 : في التراسل غير المتزامن البيانات لها طول ثابت
والفراغات لها طول متغير

في التراسل غير المتزامن يتم إرسال البيانات كسلاسل من الحروف الثابتة الطول والقالب (fixed time and format).

يسبق بت انطلاق (star bit) كل حرف بينما يأتي بعد الحرف بت توقف واحد أو بتان (stop bits) كما يضاف عادة بت للزوجية (parity bit) لحماية البيانات من التشويه بسبب ضوضاء القناة وغيرها.

نرى في الشكل التالي مثالاً للتراسل غير المتزامن



الشكل 6- 6 : تشفير البيانات في الإرسال واستخلاصها في الاستقبال في التراسل غير المتزامن

عند الاستقبال يتم استخلاص تردد البتات لكي نعرف مدة كل بت مرسل كما لا يأخذ المستقبل بعين الاعتبار إلا الحروف التي تحددها بتات الانطلاق والتوقف. هذا وتضاف عادة كلمات (frame Alignment Words: FAW) تحدد مجموعات الحروف في الإطار (frame).

للتراسل غير المتزامن الإيجابيات التالية:

- عدم وجود دوائر معقدة في النظام لنقل إشارة التزامن
- يستعمل في بروتوكولات نقل شهيرة مثل بروتوكول الإنترنت حيث لا وجوب للتزامن بين المرسل والمستقبل

وللتراسل المتزامن السلبيات التالية:

- عدم وجود معلومة وثيقة (accurate information) لجعل الاستقبال متماشياً تماماً مع الإرسال
- الاكتفاء بمعدلات إرسال ضعيفة (عادة دون 64 kbps بل غالباً أقل من ذلك).

٦- ٣ شفرة هوفمان:

تعتبر شفرة هوفمان ذات مردود أقصى بالنسبة لطول كلمة الشفرة (optimal in sense of the average codeword length) ويتم الحصول على شفرة هوفمان باستعمال الخوارزم التالي:

١. يتم إسناد الرمزين ٠ و١ للعنصرين الأقل احتمالاً ضمن المجموعة المكونة من M عنصر المزمع تشفيرها ويتم دمج العنصرين في عنصر واحد يتم إسناد قيمة احتمال (probability p(x)) له تساوي مجموعة قيمتي احتمال العنصرين المدمجين ، ليصبح لدينا بعد هذه الخطوة M-1 عنصراً

٢. يتم إدماج العنصرين الأقل احتمالاً في مجموعة ال M-1 عنصراً التي حصلنا عليها في الخطوة الأولى ثم يتم من جديد إسناد الرمزين ٠ و١ لهذين العنصرين ويتم دمج العنصرين في عنصر واحد جديد ، يتم بعد ذلك إسناد قيمة احتمال للعنصر الجديد تساوي مجموعة قيمتي احتمال العنصرين المدمجين .

٣. تستمر العملية على نفس المنوال إلى أن يبقى عنصران فقط يسند لهما الرمزان ٠ و ١ ويدمجان في عنصر واحد تسند له قيمة الاحتمال الجملية وهي ١,٠ ،

٤. تتم قراءة شجرة الشفرة التي تنتج عن العملية المذكورة آنفاً من اليمين إلى اليسار للحصول على شفرات لكل العناصر المكونة للمجموعة المزمع تشفيرها ،

يطهر الجدول التالي مثالاً لثمانية عناصر مرتبة حسب قيمة احتمالها من الأكثر احتمالاً إلى الأقل احتمالاً

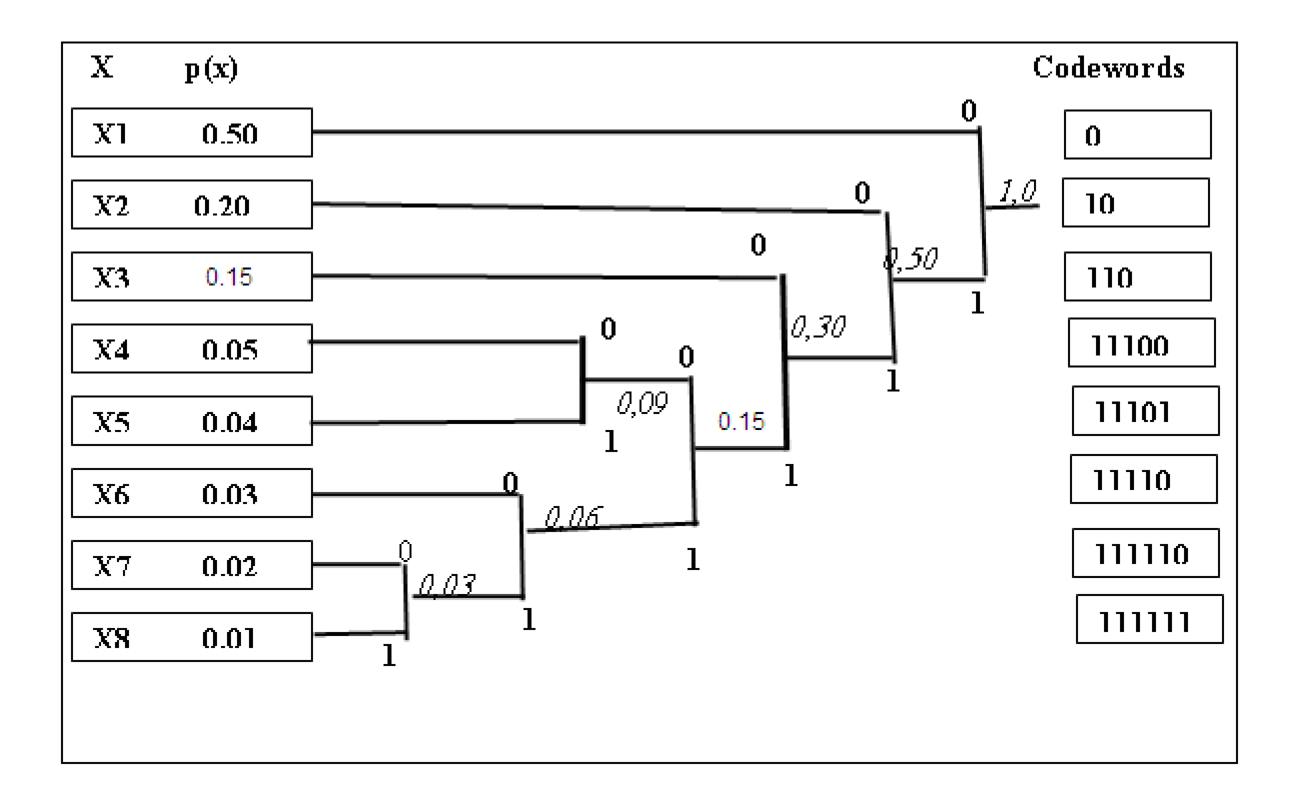
العنصر	قيمة الاحتمال (probability p(x))
X1	0.50
X2	0.20
X3	0.15
X4	0.05
X5	0.04
X6	0.03
X7	0.02
X8	0.01

- يتم أولاً دمج العنصرين X8 و X7 في عنصر واحد تكون قيمة احتماله ٠,٠١ + ٠,٠٢ = ٠,٠٣

= تتم بعد ذلك معالجة العنصر ين الأقل احتمالاً في المجموعة الجديدة وهما العنصر الحاصل عليه آنفاً والعنصر X6 فيقع إدماجهما في عنصر واحد تكون قيمة احتماله ٠,٠٣ + ٠,٠٣ = ٠,٠٦

= تتم بعد ذلك معالجة العنصر ين الأقل احتمالاً في المجموعة الجديدة وهما العنصران X4 و X5 فيقع إدماجهما في عنصر واحد تكون قيمة احتماله ٠,٠٥ + ٠,٠٤ = ٠,٠٩

وتستمر العملية على نفس المنوال إلى أن نعالج كل العناصر فنحصل على شجرة الشفرة التي نراها في الشكل التالي



الشكل ٦- ٧: مثال لتشفير هوفمان

في الشكل 6 - 7 تتم قراءة شفرة العنصر X5 مثلاً بقراءة سلسلة البتات الموجودة على فرع الشجرة المؤدي إلىX5 من اليمين إلى اليسار ، فنحصل على الشفرة الخاصة ب X5 وهي هي هذه الحال 11101،

يعطي حساب الطول المرتقب لكلمة الشفرة باعتبار المعادلة 4 = 1 واحدة في حال المثال السابق باستعمال شفرة هوفمان القيمة التالية:

$$L=1x0.5 + 2x0.2 + 3x0.15 + 5x(0.05 + 0.04 +0.03) +6x(0.02 + 0.01) = 2.13 \text{ bit}$$

6- 4 شفرة هامينغ (Hamming Code)

تعتمد شفرة هامينغ في الاتصالات الرقمية كشفرة خطية قادرة على إصلاح الأخطاء التي تحدث خلال نقل المعلومات مثلاً. تتمكن شفرة هامينغ من اكتشاف وإصلاح الأخطاء التي تتعلق ببت واحد كما تتمكن شفرة هامينغ من اكتشاف الأخطاء التي تتعلق ببتين اثنين لكن دون التمكن من إصلاح الخطأ في هذه الحالة. وكما سنرى لاحقاً في هذا الفصل فإن ما يسمى بمسافة هامينغ (Hamming distance) بين كلمات الشفرة المرسلة والمستقبلة يجب أن تكون 0 أو 1 ليكون الاتصال سليماً. وتعتبر شفرة هامينغ أفضل من شفرات الزوجية (Parity Codes) التي لا تكتشف الأخطاء الممتدة لبتين hاثنين.

وتجدر الإشارة إلى وجود عدة أصناف من شفرة هامينغ مما جعل كثيراً من الباحثين يتحدثون عن شفرات هامينغ وليس فقط شفرة هامينغ واحدة.

تعتمد شفرة هامينغ كغيرها من الشفرات التي تصلح الأخطاء على إدراج بت واحد أو أكثر تسمى بتات تحكم (Control bits) في مواقع معينة من كلمة الشفرة مع بقية البتات التي تمثل المعلومة نفسها (Data bits). تمكن بتات التحكم من اكتشاف الأخطاء داخل الكلمات المنقولة وربما أيضاً إصلاحها كما سنرى لاحقاً.

رياضياً تعتبر شفرة هامينغ من عائلة الشفرات الخطية الثنائية (binary linear codes).

مبدأ شفرات هامينغ: إذا أدرجنا بتات تحكم في مواضع مناسبة داخل المعلومة حيث إن الأخطاء التي تحدث في أماكن مختلفة تعطي نتائج مختلفة، فإنه يصبح بالإمكان اكتشاف البتات الخاطئة. ففي حالة المعلومة المكونة من 7 بت، يمكن أن تحدث سبعة أخطاء ذات بت واحد. في هذه الحالة تمكن 3 بت تحكم من اكتشاف أي بت خاطئ في المجموعة المكونة من 7 بت..

وقد صنف هامينغ شفراته بالطريقة التالية: شفرة هامينغ (m,n) هي شفرة هامينغ مكونة من m بت (m bits) منها n بت (n bits) للبيانات . فمثلا شفرة هامينغ (7و8) تعني كلمات شفرة طول الواحدة 8 بت منها 7 بت للبيانات وبت واحد للتحكم مكونة بطريقة هامينغ التي نعرضها فيما يلي:

مسافة هامينغ (Hamming distance)

درس هامينغ الشفرات المتوفرة آنذاك وطور مصطلحات (مسمّيات) لوصف النظم المعتمدة بما في ذلك عدد بتات المعلومة (number of data bits) وبتات تصحيح الأخطاء (error-correction bits). كما وضع هامينغ تعريف مسافة هامينغ (Hamming distance) وتعني عدد البتات التي تختلف قيمتها في كلمتي شفرة معينتين.

فمثلاً في الكلمتين 10101110 و 11001111 تساوي المسافة 3 لأن البت الثاني والثالث والثامن (من اليسار إلى اليمين) تختلف في الكلمتين. وتعتبر مسافة هامينغ معياراً لمدى تطابق كلمتين أو حتى عبارتين معينتين.

تكوين شفرة هامينغ

- لنفرض أننا نريد تكوين كلمات مشفرة طولها n بت مشفرة على طريقة هامينغ. يكون إذن ترتيب البتات من اليسار إلى اليمين من 1 إلى n.

- البتات عدد 1، 2، 4، 8، .... (أس 2) تعتمد لاختبار صحة الكلمات المنقولة

- تحتوي بقية البتات على المعلومة المراد نقلها

- بت الاختيار ذي الوزن 2k يعتمد لاختبار البتات التي لها نفس الوزن وذلك باستعماله كبت اختبار التعادل (parity bit) عند جمعها.

- يتم حساب بتات اختبار التعادل بواسطة عمليات حسابية تجرى على بتات المعلومة المراد نقلها

- عند الاستقبال تحسب بتات اختبار التعادل من جديد وتقارن مع بتات الاختبار المستقبلة، وتكون أخطاء النقل إذا وجدت في المواضع التي يختلف فيها بت اختبار التعادل المنقول عن بت اختبار التعادل المحسوب من طرف المستقبل.

مثال: لنأخذ كلمات شفرة مكونة من 7 بت. يكون بناؤها في هذه الحال كالتالي:

p1 p2 a3 p4 a5 a6 a7

حيث إن : p1 و p2 و p4 هي بتات اختبار التعادل و a3 و a5 و a6 وa7 هي بتات المعلومة

$p_1 = a_3 \oplus a_5 \oplus a_7$ $p_2 = a_3 \oplus a_6 \oplus a_7$ $p_4 = a_5 \oplus a_6 \oplus a_7$	$\oplus$ عملية اكس أور المنطقية logic XOR operation

جدول حساب بتات اختبار التعادل (parity bits).

وباعتبار ما رأينا سابقاً تكون شفرة هامينغ المكونة من 7 بت (المعروفة بهامينغ كود (7،4) أي كلمات شفرة طول الواحدة منها 7 بت تتضمن 4 بت للمعلومة) على النحو الذي نراه في الجدول التالي :

كلمة الشفرة Code word	عشري decimal	كلمة المعلومة Information word
0000000	0	0000
1101001	1	0001
0101010	2	0010
1000011	3	0011
1001100	4	0100
0100101	5	0101
1100110	6	0110
0001111	7	0111
1110000	8	1000
0011001	9	1001
1011010	10	1010
0110011	11	1011
0111100	12	1100
1010101	13	1101
0010110	14	1110
1111111	15	1111

الجدول : بناء شفرة همينغ (4،7)

فمثلا بالنسبة للكلمة 0100 تحسب قيم بتات الاختبار باستعمال المعادلات آنفة الذكر فنحصل على

p1 = 1 و p2 = 0 و p4 = 1 وهو ما يجعلنا نحصل على الكلمة 1001100

فلو حصلنا في الاستقبال على كلمة خاطئة مثل 1011100 يؤدى حساب بتات الأخطاءبالنسبة للكلمة المستقبلة إلى p1 = 0 و p2 = 1 و p4 = 1 وبذلك فإن قيم بتات الاختبار تختلف قيمها في الكلمة المنقولة والكلمة المستقبلة (المحسوبة)، فالخطأ يقع في الموقع الذي يساوي مجموع أرقام البتات الخطأ أي 1+2=3 أي البت رقم 3 يجب أن يكون 0 عوضاً عن 1 فنحصل بعد تصحيح الخطأ على الكلمة الصحيحة أي 1001100.

الشفرة المقترحة تستطيع إذاً اكتشاف خطأ واحد في كل كلمة منقولة مع الدلالة على موضع الخطأ. وقد تمكننا الشفرة من اكتشاف حدوث أخطاء متعددة في الكلمة الواحدة لكنها لا تمكننا في هذه الحال من تصحيح الأخطاء المتعددة لأن اختبار بتات التعادل وحدها لا يكفي في هذه الحال.

6- 5 شفرة غراي (Gray Code)

شفرة غراي المعروفة أيضاً باسم الشفرة الثنائية المنعكسة (reflected binary code) هي نظام ثنائي حيث تختلف كل قيمتين متتاليتين في بت واحد فقط ، ولهذه الشفرة أهمية بالغة في اكتشاف الأخطاء التي قد تحدث عند نقل الرقمية أو تخزينها مثلاً.

وفيما يلي نعرض شفرة غراي بالنسبة ل 2 بت و3 بت و4 بت.

4-bit Gray code	3-bit Gray code	2-bit Gray code
0000	000	
0001	001	
0011	011	00
0010	010	01
0110	110	11
0111	111	10
0101	101	
0100	100	
1100		
1101		
1111		
1110		
1010		
1011		
1001		
1000		

وتختلف شفرة غراي عن الشفرة الثنائية كما نرى فيما يلي مثلاً في حال الثلاثة بت

Dec	Gray	Binary
0	000	000
1	001	001
2	011	010
3	010	011
4	110	100
5	111	101
6	101	110
7	100	111

تطبيقات شفرة غراي :

لشفرة غراي تطبيقات كثيرة وهامة في ميادين الاتصالات الرقمية وغيرها ، فهي تستعمل كذلك في الرياضيات والتلغراف والنقل التلفزي والتحويل التماثلي الرقمي حيث تستعمل طريقته للتقليل من أخطاء التحويل، كما تستعمل الطريقة في تشغيل مفاتيح بعض المعدات الإلكترونية. ولعل الطالب يكون قد اكتشف من الجداول الواردة أن شفرة غراي مستعملة في وضع أرقام الأسطر والأعمدة في خارطة كارنو (Karnaugh Map)..

ولعل من أهم التطبيقات تلك التي تتعلق بمعدات قيس الزوايا حيث يتم استغلال خاصية الدورة (periodicity, cyclicity) في الزوايا وفي شفرة غراي. كما تستعمل شفرة كود لحل مسائل رياضية من صنف نظرية الألعاب.. أما في البرمجة فيسمح استعمال شفرة غراي لترقيم اسطر البرنامج باستهلاك أقل جهد في الانتقال من سطر إلى اخر.

أما في الاتصالات الرقمية ذاتها فيستعمل تشفير غراي في التضمين الرقمي (Digital Modulation) ،كال (QAM) مثلاً، حيث يتم ترقيم النقاط في الرسم البياني (Constellation diagram) باستعمال شفرة غراي، وهذا ما يعطي إمكانية إصلاح الأخطاء المتمثلة في خطأ من بت واحد. ذلك أن المستقبل () يتمكن من أصلاح أي خطأ نقل يتمثل في جعل نقطة تأخذ مكاناً خاطئاً في الرسم البياني..

وهذه الخاصية من الأسباب التي تجعل نظم النقل التي تستعمل التضمين الرقمي أقل حساسية للضوضاء. (less susceptible to noise).

كما يستعمل مصممو المعدات الرقمية شفرة غراي للحصول على عدادات تعمل بترددات مختلفة وذلك هام في بناء المعالجات المعقدة التي تعمل بترددات متعددة (different clock frequencies). ولعل الطالب هنا يذكر مثلاً أخذ العينات بترددات مختلفة (multi-rate sampling) الذي شرحناه في الوحدات السابقة.

ولكي نشرح أهمية شفرة غراي، دعنا نأخذ المثال التالي: لنفرض أننا نريد بناء عداد ثنائي باستعمال ثلاثة مفاتيح، حيث إن كل مفتاح يمكن أن يكون في وضع 0 أو 1.

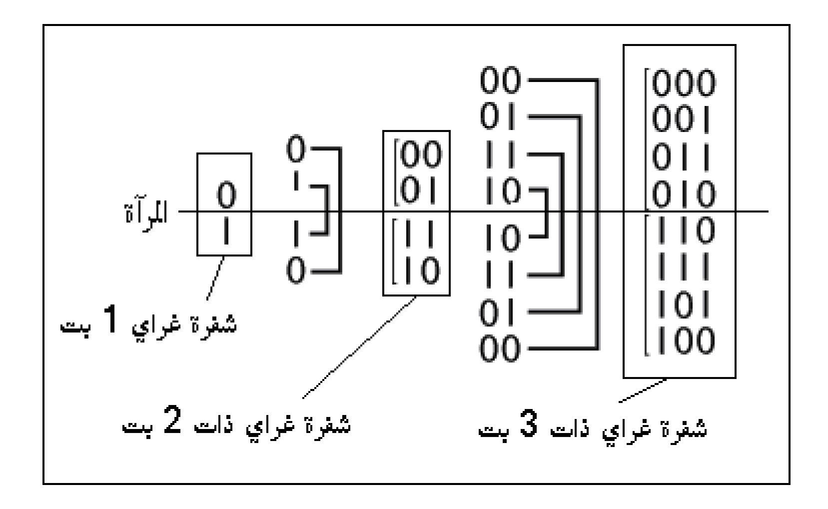
لنفرض أننا وصلنا القم 3 (ثنائي 011 وفي شفرة غراي 010) ونريد المرور إلى الرقم 4 (ثنائي 100 وفي شفرة غراي 110). يستدعي المرور من 3 إلى 4 في النظام الثنائي تشغيل كل المفاتيح التي تتغير كلها (من 011 إلى 100 كل البتات الثلاثة تتغير). أما في شفرة غراي فيكفي تشغيل مفتاح واحد (من 010 إلى 110 فقط البت الأكبر وزناً يتغير من 0 إلى 1). وهكذا فإن العد يكون أكثر جدوى في حال استعمال شفرة غراي، ذلك أن المفاتيح الإلكترونية لا يمكن أن تشغل كلها في تزامن تام وإنما تمر العملية حتماً بأوضاع مؤقتة، مما قد يؤدي إلى قراءات خاطئة للعدادات التي تستعمل النظام الثنائي الطبيعي، بينما لا توجد هذه المشكلة في حال استعمال شفرة غراي.

ففي شفرة غراي يتم الرجوع إلى الصفر (000) بعد الوصول إلى العدد الأكبر (100) تغيير قيمة البت الأكبر وزناً فقط من 1 إلى 0 وبذلك تشغيل مفتاح واحد فقط، كما يبين ذلك الجدول التالي

Dec	Gray	Binary
0	000	000
1	001	001
2	011	010
3	010	011
4	110	100
5	111	101
6	101	110
7	100	111

الحصول على شفرة غراي:

يتم بناء شفرة غراي المكونة من بت باستعمال طريقة العكس المرآتي ووضع بت في مقدمة الأرقام المعكوسة يساوي على التوالي 0 ثم 1. يظهر الشكل التالي طريقة البناء بالنسبة لبتين (٢) والثلاثة (٣) بت.



الشكل 6 – 8 استعمال العكس المرآتي ووضع البتات في بداية الأعداد لبناء شفرات غراي

وفيما يلي نفسر بناء شفرة غراي بالاعتماد علي الشكل 6 - 5 أعلاه

العمود الأول من اليسار: البت الواحد يكون 0 أو 1 وهذه شفرة غراي ذات 1 بت

العمود الثاني من اليسار: ننسخ محتوى العمود الأول (شفرة 1 بت) ثم نضيف إليه محتوى العمود الأول (نفسه) لكن بالترتيب العكسي،

العمود الثالث من اليسار: ننسخ العمود الثاني مع إضافة 0 إلى اليسار لكل رقم في الجزء غير المعكوس و 1 إلى اليسار لكل رقم في الجزء المعكوس فنحصل بذلك على شفرة غراي ذات (2) بت.

العمود الرابع من اليسار: ننسخ محتوى العمود الثالث (شفرة 2 بت) ثم نضيف إليه محتوى العمود الثالث (نفسه) لكن بالترتيب العكسي،

العمود الخامس من اليسار: ننسخ محتوى العمود الرابع مع إضافة 0 إلى اليسار لكل رقم في الجزء غير المعكوس و 1 إلى اليسار لكل رقم في الجزء المعكوس فنحصل بذلك على شفرة غراي ذات 3 بت.

نستمر على نفس المنوال: ننسخ دون عكس ثم نضيف نفس ما نسخناه لكن بالترتيب العكسي ثم نضيف 0 في مستهل أعداد الجزء غير المعكوس و1 في مستهل أعداد الجزء المعكوس. وبذلك نحصل على الشفرة التي تكبر سابقتها ببت واحد.

المراجع

1. Martin S. Roden: ‘Analog and Digital Communication Systems’, fifth Edition , Discovery Press, 2003
2. Bernard Sklar: ‘Digital Communications, Fundamentals and Applications’, Last Edition, Prentice Hall, 2001
3. Simon Haykins, ‘Digital Communication’, John Wiley, 2001.
4. John Pearson : ‘Basic Communication Theory’, Prentice Hall, 2000
5. Proakis, ‘Digital Communication’, McGraw-Hill, 1992.

المحتويات